

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME SAMWAYS

TRATAMENTO DO LODO DE TANQUES SÉPTICOS COMBINADO COM
ESGOTO SANITÁRIO BRUTO EM REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE
LODO EM ESCALA PILOTO

CURITIBA

2010

GUILHERME SAMWAYS

TRATAMENTO DO LODO DE TANQUES SÉPTICOS COMBINADO COM
ESGOTO SANITÁRIO BRUTO EM REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE
LODO EM ESCALA PILOTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse

Coorientador: Prof. Dr. Cleverson Vítório Andreoli

CURITIBA

2010

-
- S193t Samways, Guilherme
Tratamento do lodo de tanques sépticos combinado com esgoto sanitário
bruto em reatores anaeróbios de manta de lodo em escala piloto/Guilherme
Samways. – Curitiba, 2010.
134f. : ill. Color. : 30 cm.
- Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental, 2010.
- Orientador: Miguel Mansur Aisse – Co-orientador: Cleverson Vitório
Andreoli.
Bibliografia: p. 106-110.
1. Esgoto doméstico. 2. Tanques sépticos. 3. Lodo de esgoto –
Tratamento. I. Universidade Federal do Paraná. II. Aisse, Miguel Mansur. III.
Andreoli, Cleverson Vitório. IV. Título.
- CDD: 628.742
-



TERMO DE APROVAÇÃO

GUILHERME SAMWAYS

"Tratamento do Lodo de Tanques Sépticos Combinado com Esgoto Sanitário Bruto em Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo em Escala Piloto"

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

Miguel Mansur Aisse
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:

Cleverson Vitorio Andreoli
Centro Universitário Franciscano
Co-orientador

Maria Cristina Borba Braga
Universidade Federal do Paraná

Pedro Alêm Sobrinho
Universidade de São Paulo

Curitiba, 11 de agosto de 2010

Ao meu pai, Nelson Edy. À lembrança
de quem ele foi e hoje quem ele é.

A minha mãe, Regina.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Miguel Mansur Aisse, por todos estes anos de convívio, pela orientação nesta dissertação, pelo apoio concedido em todos os momentos da minha formação acadêmica, pela inspiração motivadora que possibilita meu desejo em seguir seu exemplo como profissional e, sobretudo; como a pessoa que é.

Ao Prof. Cleverson Vitório Andreoli, pela coorientação neste trabalho, pela oportunidade em desenvolver junto a SANEPAR e ao PROSAB as pesquisas sobre Lodo Séptico e que permitiram sua realização.

À Raquel Pinheiro Pompeo, Patrícia Bilotta, Thiago Edwiges, Leana Carolina Ferreira, Mariana Schaedler e Gisele Fátima Alvez, meus colegas bolsistas no desenvolvimento do PROSAB, por todo companheirismo, paciência e determinação que, apesar com todas as adversidades impostas, concluímos com êxito aquilo a que nos propusemos realizar.

À Franciele da Silva Maria e ao Tiago Augusto Beuting Ostrowski, bolsistas da UFPR, pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa, tanto nos laboratórios quanto na estação piloto sem o qual o trabalho seria extenuante.

À Juliana Seixas Pilotto, Luis César Baréa, Gustavo Trombini Mendes e a Celso Savelli Gomes, da Unidade de Serviços de Projetos Especiais da SANEPAR, pela associação em compartilhar nossas pesquisas na estação piloto.

Ao Edgar Faust Filho, Eduardo Sabino Pegorini, Murilo Duma e Vanessa Galperin da Unidade de Serviço de Esgotos da SANEPAR, em especial a Haroldo Benedito Alves. Também especialmente a Tatiana Silva Tironi e Aretha Rodrigues da Costa do Laboratório da ETE Belém por todo o auxílio e amizade durante e após o desenvolvimento da pesquisa. Ao agradecer a Adalton Aparecido Rodrigues, agradeço também a todos os funcionários, operadores e terceirizados da ETE Belém que, sem o seu apoio, a pesquisa não teria sido realizada.

Ao Rodrigo Fonseca Moreira da Unidade de Serviço de Eletromecânica da SANEPAR e a todo o seu pessoal que tantas vezes foram solicitados e todas as vezes fomos prontamente atendidos com um trabalho excepcional.

À Fernanda Armelinda, Marcos Lopes de Souza, Maurício Bergamini Scheer, Beatriz Monte Serrat, Simone Bittencourt, Francis Helen Baggio e Marilene Maria Lora, membros da Assessoria em Pesquisa e Desenvolvimento da SANEPAR em especial a Giancarlo Lupatini e Cinthia Monteiro Hartmann, pelo trabalho realizado conjuntamente. Agradecendo especialmente a Charles Carneiro estendo à toda SANEPAR.

À UFPR e a todos os professores e funcionários do PPGERHA em especial a Prof^a. Maria Cristina Braga e Prof. Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes, pela compreensão e auxílio nas dificuldades encontradas no decorrer do mestrado. Ao Prof. Sergio Michelotto Braga por todo apoio técnico na adequação da estação piloto.

A todos os meus colegas do mestrado, em especial a Ângelo Breda, Carla Cristina Bem, Daniel Larsen, Eloíse Garcia Knapik, Jonas Heitor Kondageski, Julia Rainho, Luiz Vasconcelos da Silva Filho, Maria Carolina Vieira da Rocha, Michael Mannich, Mônica Eboly Barés, Natália Costa Dias, Nicole S. de Oliveira, Priscila Karina Altvater Mannich, Rodrigo P. Pacheco e Vanessa Daneluz Gonçalves por todos os pequenos ou grandes auxílios, pelo convívio, afinidade e amizade.

À FINEP pelo apoio financeiro, sem o qual esta pesquisa não poderia ser realizada. Neste, incluo o CNPq e a todos os professores e bolsistas que participaram do PROSAB tema Lodo, quinta edição.

Ao lembrar todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, fui surpreendido com a enorme quantidade de pessoas que se envolveram de forma direta ou indireta em sua conclusão. A todos os citados e àqueles que, por um capricho da minha memória, não o foram; muito obrigado.

“A mente humana não pode captar as causas dos acontecimentos em sua totalidade, mas o desejo de encontrar essas causas está implantado na alma humana.”

Leon Tolstoi (1828-1910)

RESUMO

Os tanques sépticos são amplamente utilizados no Brasil para o tratamento individualizado dos esgotos domésticos, porém, o lodo gerado por esses tanques não possui tratamento e disposição final ambientalmente adequado. Uma das propostas de tratamento deste lodo é dispô-lo em Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo, de Fluxo Ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB). O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgotos Belém, Curitiba-PR, da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), em reatores piloto com volume de 2 m³, onde foram aplicados lodo séptico em 3 reatores: T1 e T2, permanecendo o reator T3 apenas com esgoto sanitário como controle. A pesquisa foi dividida em cinco etapas: Pré-operação, Partida dos Reatores, Operação 1 (UASB + Lodo Dose 1), Operação 2 (UASB + Lodo Dose 2), e Operação 3 (UASB + Lodo Dose 3). A partida foi efetuada sem utilização de inóculo e os reatores foram operados com Tempo de Detenção Hidráulico médio (TDH) de 8 h e vazão afluyente média de 250 L h⁻¹ (6.000 L d⁻¹). Foram aplicadas taxas crescentes de lodo séptico nos reatores UASB nas vazões 110 L d⁻¹ (carga volumétrica de 0,22 kg ST m⁻³ d⁻¹ e 0,15 kg DQO m⁻³ d⁻¹) na fase UASB + Lodo 1; 250 L d⁻¹ (carga de 0,45 kg ST m⁻³ d⁻¹ e 0,40 kg DQO m⁻³ d⁻¹) na fase UASB + Lodo 2 e 450 L d⁻¹ (carga de 0,80 kg ST m⁻³ d⁻¹ e 0,70 kg DQO m⁻³ d⁻¹) na fase UASB + Lodo 3. O lodo de tanques sépticos foi diluído a uma concentração de Sólidos Totais de 4.000 mg L⁻¹ por razões operacionais. Foi observado uma diminuição na eficiência da remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) na aplicação da Dose 3, na ordem de 5%, e de alterações na alcalinidade total, acidez e pH nos reatores que receberam lodo de tanques sépticos, porém foram realizados testes estatísticos e não indicaram que estas alterações tivessem sido significativas. Portanto, assumiu-se que os reatores utilizados na pesquisa não sofreram perdas na sua qualidade de tratamento nas doses testadas com lodo de tanques sépticos. O lodo anaeróbio retirado dos reatores UASB pôde ser considerado estabilizado (relação SV/ST entre 0,55 a 0,61 em média). O período de menor estabilidade do lodo anaeróbio foi durante e logo após a adição de lodo tanques sépticos, porém este não pode ser correlacionado com o acréscimo de lodo, pois o reator T3 não recebeu lodo de tanques sépticos e obteve a maior relação SV/ST (0,64). Assim, o acréscimo do lodo de tanques sépticos aparentemente não afetou a estabilidade do lodo anaeróbio. O sistema de pré-tratamento do lodo de tanques sépticos atendeu as necessidades do estudo. Foi sugerido para a utilização do tratamento combinado de lodo de tanques sépticos e esgoto doméstico em escala plena e de forma contínua, a utilização de uma carga de até 0,80 kg ST m⁻³ d⁻¹ e 0,70 kg m⁻³ d⁻¹, sem que haja prejuízos ao sistema, viabilizando a aplicação do lodo de tanques sépticos em reatores UASB até a carga máxima encontrada.

Palavras-Chave: caracterização de lodo séptico, co-disposição de lodo séptico em ETEs, lodo de tanques sépticos, tratamento combinado.

ABSTRACT

Was evaluated the performance of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB), in a pilot scale, treating sewage and sludge from septic tanks. The study was conducted at Wastewater Treatment Plant (WWTP) Belém, Curitiba-PR, owned by Parana Sanitation Company (SANEPAR) on a pilot plant. The size of the three reactors was about 2 m³ of total volume each, were applied raw sewage and septic sludge in two reactors (T1 and T2) and the third received only raw sewage (T3), doing the control function. The research was divided into seven stages: Pre-Operation, Star Up, Operation 1, UASB plus Sludge 1, Operation 2, UASB plus Sludge 2 and UASB plus Sludge 3. The Startup was made without the use of inoculums and the reactors were operated with hydraulic retention time (HRT) of 8 h. The average sewage flow rate was 250 L h⁻¹ (6000 L d⁻¹) in each reactor. Were applied increasing rates of septic sludge in UASB reactors in flow of 110 L d⁻¹ (volumetric load of 0.22 kg TS m⁻³ d⁻¹ and 0.15 kg COD m⁻³ d⁻¹) in the UASB plus Sludge 1 stage; 250 L d⁻¹ (volumetric load of 0,45 kg TS m⁻³ d⁻¹ and 0.40 kg COD m⁻³ d⁻¹) in the UASB plus Sludge 2 stage and 450 L d⁻¹ (volumetric load of 0,80 kg TS m⁻³ d⁻¹ and 0,70 kg COD m⁻³ d⁻¹) in the UASB plus Sludge 3 stage. The septic sludge was conditioned to a concentration of 4000 mg TS L⁻¹. Also was researched the pre-treatment system and the anaerobic stabilization of sludge from the UASBs. Were observed a decrease in the efficiency of COD (5%) in Sludge 1 stage and altered in Alkalinity, Acidity and pH, but were performed a statistical test that did not prove that these changes are significant. Therefore, was assumed that the reactors used in the study suffered no losses in their quality of treatment. The anaerobic sludge taken from the UASB reactors could be considered stable (VS/TS from 0.55 to 0.61 in average). The period of lower stability of the anaerobic sludge was during and immediately after the addition of septic sludge, but this cannot be correlated with the increase of sludge because the sludge reactor T3 not received septic sludge and had the biggest ratio VS/TS (0.64). Thus, the addition of septic sludge apparently did not affect the stability of anaerobic sludge. The system of pre-treatment of septic sludge met the needs of the research. It is suggested to use the combined treatment of domestic sewage and septic sludge in full scale continuously, using a volumetric load of up to 0.80 kg TS m⁻³ d⁻¹ and 0.70 kg BOD m⁻³ d⁻¹, without damage to the system, at least until more accurate figures can be found.

Keywords: combined treatment, septic tanks sludge, septic sludge characterization, sludge disposal in WWTPs.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – PORCENTAGEM DOS TIPOS DE ATENDIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM DOMICÍLIOS.....	24
FIGURA 3.2 –PORCENTAGEM DOS DOMICÍLIOS BRASILEIROS ATENDIDAS POR REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	24
FIGURA 3.3 – PORCENTAGEM DOS DOMICÍLIOS BRASILEIROS ATENDIDAS POR REDE COLETORA DE ESGOTOS	25
FIGURA 3.4 – ROTAS METABÓLICAS E GRUPOS MICROBIANOS ENVOLVIDOS NA DIGESTÃO ANAERÓBIA	34
FIGURA 3.5 – DESENHO EM PLANTA E EM CORTE DE UM TANQUE SÉPTICO PRISMÁTICO RETANGULAR	37
FIGURA 3.6 – REATOR RALF ADOTADO PELA SANEPAR	40
FIGURA 4.1 –INSTALAÇÃO PILOTO PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS JUNTO A ETE BELÉM	47
FIGURA 4.2 –DIAGRAMA DAS INSTALAÇÕES PILOTO UTILIZADA NA PESQUISA	48
FIGURA 4.3 – CORTE LONGITUDINAL DO REATOR UASB.....	49
FIGURA 4.4 –TORRE E RESERVATÓRIO ELEVADO DA ESTAÇÃO PILOTO	50
FIGURA 4.5 – UMA BOMBA PERISTÁLTICA MILAN MODELO BPI 713.25.19-DUPLA.....	51
FIGURA 4.6 – RESERVATÓRIO ELEVADO DA ESTAÇÃO PILOTO VAZIO..	52
FIGURA 4.7 – RESERVATÓRIO ELEVADO DA ESTAÇÃO PILOTO CHEIO .	52
FIGURA 4.8 –AMOSTRADOR, ADENSADOR E TANQUE DE ARMAZENAMENTO.....	53
FIGURA 4.9 – DETALHE DO AMOSTRADOR –CALHA PARSHALL.....	53
FIGURA 4.10 –TUBULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO OU DESCARTE DE LODO	54
FIGURA 4.11 – ADENSADOR E BOMBA ABS PIRANHA.....	54
FIGURA 4.12 –TANQUE DE ARMAZENAMENTO	54
FIGURA 4.13 –TANQUE DE ARMAZENAMENTO SOB AGITAÇÃO	54
FIGURA 4.14 –RESERVATÓRIO DOTADO DE MISTURADOR LENTO	55
FIGURA 4.15 –BOMBA DOSADORA DE LODO	55

FIGURA 4.16 –DESCARTE DE CAMINHÃO LIMPA-FOSSA NA ETE BELÉM	59
FIGURA 4.17 –DESCARTE DE CAMINHÃO LIMPA-FOSSA NA ETE BELÉM	59
FIGURA 4.18 – DESCARTE DE LODO SÉPTICO NO AMOSTRADOR.....	60
FIGURA 4.19 –DESCARTE DE LODO SÉPTICO NO AMOSTRADOR.....	60
FIGURA 4.20 –FRASCOS DE COLETA E ANALISES DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS EM CONE IMHOFF	60
FIGURA 4.21 –BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DE ESGOTO BRUTO. MANUTENÇÃO DE LIMPEZA.....	62
FIGURA 4.22 –BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DE ESGOTO BRUTO. MANUTENÇÃO DE LIMPEZA.....	62
FIGURA 5.1 –CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS EM MG.L ⁻¹ DE LODO SÉPTICO DE CAMINHÃO LIMPA-FOSSA EM RELAÇÃO AO TEMPO DE DESCARTE (14/05/2008).....	66
FIGURA 5.2 –GRÁFICO DE DISPERSÃO E CORRELAÇÃO R ² ENTRE OS PARÂMETROS DE SÓLIDOS TOTAIS E DE DQO DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO SÉPTICO UTILIZADO NO SISTEMA PILOTO.....	67
FIGURA 5.3 –DETALHE DA PENEIRA DE 5 MM UTILIZADA PARA O TRATAMENTO PRELIMINAR	70
FIGURA 5.4 –EXTRAVASAMENTO DA PENEIRA COLMATADA NA DESCARGA DE LODO SÉPTICO.....	70
FIGURA 5.5 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE DBO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1.....	74
FIGURA 5.6 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE DQO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1.....	74
FIGURA 5.7 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE FOSFATO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1.....	75
FIGURA 5.8 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE FOSFATO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1.....	76
FIGURA 5.9 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA TEMPERATURA DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1	77

FIGURA 5.10 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DO PH DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1.....	77
FIGURA 5.11 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ACIDEZ DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1.....	78
FIGURA 5.12 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ALCALINIDADE TOTAL DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 1	79
FIGURA 5.13 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE DBO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	81
FIGURA 5.14 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE DBO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	82
FIGURA 5.15 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA TEMPERATURA DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	83
FIGURA 5.16 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DO PH DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	83
FIGURA 5.17 –MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ACIDEZ DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	84
FIGURA 5.18 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ALCALINIDADE DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	85
FIGURA 5.19 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE DBO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 2 (ESCALA LOGARÍTMICA).....	87
FIGURA 5.20 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA TEMPERATURA DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 2	89
FIGURA 5.21 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ACIDEZ DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 2.....	89

FIGURA 5.22 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ALCALINIDADE DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE DE OPERAÇÃO 2	90
FIGURA 5.23 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DE DBO DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 2 E 3.....	93
FIGURA 5.24 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DO PH DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 2 E 3.....	93
FIGURA 5.25 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ACIDEZ DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 2 E 3.....	95
FIGURA 5.26 – MEDIANA, QUARTIL E MÁXIMOS E MÍNIMOS DA ALCALINIDADE DA AMOSTRA DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE E DOS EFLUENTES DOS REATORES T1, T2 E T3 NA FASE UASB + LODO DOSE 2 E 3	95
FIGURA 5.27 – COMPORTAMENTO DO LODO ANAERÓBIO DESCARTADO DOS REATORES UASB T1, T2 E T3.....	99
FIGURA 5.28 – RELAÇÃO SV/ST DO LODO ANAERÓBIO DOS REATORES UASB T1, T2 E T3	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – FATORES DE INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS	28
TABELA 3.2 – CONTRIBUIÇÕES UNITÁRIAS DE ESGOTOS	29
TABELA 3.3 – COMPOSIÇÃO TÍPICA DO ESGOTO DOMÉSTICO	30
TABELA 3.4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS	30
TABELA 3.5 – CARACTERÍSTICAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO ANAERÓBIO	32
TABELA 3.6 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS CATABOLISMOS OXIDATIVO E FERMENTATIVO.....	34
TABELA 3.7 – ACEPTORES DE ELÉTRONS TÍPICOS DAS REAÇÕES DE OXIDAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTOS (EM ORDEM DECRESCENTE DE LIBERAÇÃO DE ENERGIA).....	35
TABELA 3.8 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO SÉPTICO	38
TABELA 3.9 – TRABALHOS SOBRE LANÇAMENTO DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS EM ETES.....	44
TABELA 4.1 – CRONOGRAMA DA OPERAÇÃO DOS REATORES PILOTO – ETE BELÉM.....	57
TABELA 4.2 – PARÂMETROS E MÉTODOS DAS ANÁLISES	63
TABELA 4.2 –PARÂMETROS E FREQUÊNCIA DAS ANÁLISES EM FUNÇÃO DAS FASES DO PROJETO	64
TABELA 5.1 –DELINIEAMENTO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DOS REATORES UASB TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO E LODO SÉPTICO	69
TABELA 5.2 – DADOS DE ALCALINIDADE A CARBONATOS, ALCALINIDADE TOTAL E RELAÇÃO \square DOS REATORES UASB T1, T2 E T3	73
TABELA 5.3 – VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB NA FASE DE OPERAÇÃO 1	80
TABELA 5.4 – VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB NA FASE UASB + LODO DOSE 1.....	86

TABELA 5.5 – VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB NA FASE OPERAÇÃO 2..	91
TABELA 5.6 –PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DOS REATORES UASB TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO E LODO SÉPTICO	96
TABELA 5.7 –VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB + LODO DOSE 2 E 3.....	97
TABELA 5.8 – DEMONSTRATIVO DAS VARIAÇÕES DO VOLUME DESCARTADO NOS REATORES UASB PILOTO, ETE BELÉM.....	98
TABELA 5.9 –APLICAÇÃO DO TESTE DE KUSKAL-WALLIS PARA DIFERENÇAS ENTRE AS MEDIADAS DOS REATORES T1 T2 E T3...	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	– Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
BAS	– Biofiltro Aerado Submerso
CDQO	– Carga de Demanda Química de Oxigênio
CEF	– Caixa Econômica Federal
CHV	– Carga Hidráulica Volumétrica
CNPq	– Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COV	– Carga Orgânica Volumétrica
CST	– Carga de Sólidos Totais
CV	– Cavalo Vapor
CVDQO	– Carga Volumétrica de Demanda Química de Oxigênio
CVST	– Carga Volumétrica de Sólidos Totais
DAFA	– Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio
DHS	– Departamento de Hidráulica e Saneamento
DQO	– Demanda Química de Oxigênio
ETE	– Estação de Tratamento de Esgotos
FINEP	– Financiadora de Estudos e Projetos
FUNASA	– Fundação Nacional de Saúde
LABEAM	– Laboratório de Engenharia Ambiental Prof. Francisco Borsari Netto
NMP	– Número Mais Provável
NTK	– Nitrogênio Total Kjeldhal
PNAD	– Programa Nacional de Amostras por Domicílio
PPGERHA	– Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental
PROSAB	– Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PVC	– Policloreto de Polivinila
Q	– Vazão
RAFA	– Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RALF	– Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado

S	– Concentração de Substrato Afluente
SANEPAR	– Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	– Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento
ST	– Sólidos Totais
STF	– Sólidos Totais Fixos
STV	– Sólidos Totais Voláteis
TDH	– Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	– <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
USEG	– Unidade de Serviços de Esgotos
USEM	– Unidade de Serviço de Manutenção
V	– Volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS.....	22
2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1 PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	23
3.2 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO DOMÉSTICO.....	26
3.2.1. Aspectos quantitativos do esgoto doméstico	27
3.2.2 Aspectos qualitativos do esgoto sanitário	29
3.3 TRATAMENTO ANAERÓBIO	31
3.3.1 Aspectos da Digestão Anaeróbia	32
3.4 TANQUES SÉPTICOS.....	36
3.5 Reatores UASB.....	39
3.5.1 Parâmetros de Dimensionamento.....	41
3.6TRATAMENTO COMBINADO DE LODO SÉPTICO E ESGOTO DOMÉSTICO.....	43
4. MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 INSTALAÇÕES DA PESQUISA.....	47
4.1.1 Tratamento do Esgoto.....	48
4.1.2 Recebimento do Lodo	52
4.2 FASES DO ESTUDO	55
4.3 DOSAGEM DE ESGOTO BRUTO E LODO SÉPTICO	57
4.4 COLETA E AMOSTRAGEM DE LODO SÉPTICO	59
4.5 DESCARTE DO LODO ANAERÓBIO DE EXCESSO.....	61
4.6 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PREVENTIVA DA ESTAÇÃO PILOTO..	61
4.7 DETERMINAÇÕES E ENSAIOS LABORATORIAIS.....	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1 PARÂMETROS DE APLICAÇÃO DE LODO SÉPTICO.....	66
5.1.1 Características do Descarte de Lodo Séptico	66
5.1.2 Aplicação de Lodo Séptico.....	68
5.2 TRATAMENTO PRELIMINAR DO LODO SÉPTICO.....	69
5.3 MONITORAMENTO DOS REATORES UASB	71
5.3.1 Fase de partida e pré-operação dos reatores	72
5.3.2 Fase de Operação 1	72
5.2.3 Fase UASB + Lodo Dose 1	79
5.2.4 Fase de Operação 2	85
5.2.5 Fase UASB + Lodo Dose 2 e 3.....	90
5.4 QUALIDADE DE ESTABILIZAÇÃO DO LODO ANAERÓBIO.....	98
5.5 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DO LODO SÉPTICO.....	101
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
7. REFERÊNCIAS.....	106

1. INTRODUÇÃO

Em países em desenvolvimento é comum a disposição inadequada de esgotos domésticos no solo, rios, lagos e oceanos. Esse procedimento ocasiona uma série de efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde humana (KLINGEL *et al.*, 2002). Buscando minimizar esse problema, sistemas individuais de tratamento de podem ser utilizados como alternativa eficiente, de operação simples, compacta e econômica para o tratamento desses efluentes, inclusive em regiões parcialmente servidas de sistemas de coleta de esgotos, quando esses não contemplam todos os geradores. Entre os sistemas individuais, os tanques sépticos encontram-se entre os mais utilizados em todo o mundo.

Em termos gerais, o uso de tanques sépticos poderia ser uma solução adequada em três situações: a) inexistência de rede de coleta de esgotos; b) quando da observação dos cuidados técnicos com sua instalação e operação; c) condições ambientais favoráveis. A construção de tanques sépticos em solo não favorável, a inadequação técnica na construção e a falta de manutenção e operação, influem negativamente na qualidade final do tratamento e, conseqüentemente, na redução da sua função ambiental e sanitária.

Uma das formas de se atingir um bom funcionamento do sistema é garantir a retirada do excesso de lodo gerado devido à sedimentação dos sólidos e a sua digestão. O lodo sedimentado apresenta grande potencial poluidor devido à quantidade de material orgânico e patogenicidade. Apesar desse potencial, não é incomum a existência de relatos de destinação inadequada do lodo em terrenos baldios, poços de visita ou até despejados em cursos de água, transformando o lodo séptico em agente da poluição ambiental, portanto o lodo séptico é um passivo sujeito a atenção especial em relação ao seu tratamento. Dessa forma, pode-se conceber um sistema destinado exclusivamente ao tratamento do lodo séptico, ou tratado de forma associada a outro sistema de tratamento de águas residuárias.

Para solucionar o problema do lodo, os usuários do sistema geralmente utilizam o serviço de empresas especializadas para a remoção do lodo de armazenado, transferindo para essas empresas a responsabilidade de sua

destinação final. As empresas que prestam este serviço, denominadas limpa-fossa (também conhecidas como desentupidoras ou imunizadoras), quando não possuem estrutura para o tratamento individualizado, recorrem às empresas de saneamento para tratar o lodo séptico coletado conjuntamente com o esgoto doméstico em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), teoricamente habilitadas a receber o material. Porém, descargas não controladas de lodo séptico podem prejudicar a eficiência do tratamento, ora pelas características variadas do lodo, ora pelas descargas irregulares provenientes de outras atividades não-domésticas. Esse procedimento exige da parte das companhias de saneamento, um cuidado maior com o recebimento deste material. Na inexistência de um protocolo de recebimento definido, muitas empresas de saneamento acabam recebendo a totalidade do lodo séptico em descartes pontuais de grande volume e com características desconhecidas, o que, geralmente, afeta a eficiência da estação de tratamento.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a eficiência do tratamento de lodo séptico, pré-tratado, combinado com esgoto bruto, em reatores tipo UASB em escala piloto. Como HIPÓTESE: até uma determinada Carga Orgânica Volumétrica (COV) não ocorre reduções significativas na eficiência do reator e na qualidade do lodo anaeróbio produzido.

O uso dos reatores anaeróbios UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) para o tratamento de esgotos domésticos é uma realidade difundida no Brasil, sobretudo no Estado do Paraná. A justificativa para a execução da pesquisa foi a investigação da capacidade máxima de recebimento de lodo séptico por essa tecnologia, que poderá orientar os protocolos de recebimento de lodo séptico em ETEs que utilizam o sistema de UASBs ou em sistemas similares, o que traria benefícios tanto para as empresas de saneamento quanto para as empresas que coletam o lodo séptico.

Os dados finais deste estudo poderão auxiliar na elaboração de subsídios técnicos para nortear a adequação, concepção, dimensionamento, viabilidade de implementação e na melhoria de operação de sistemas de tratamento de esgotos domésticos que recebam, ou venham receber espontaneamente, o lodo proveniente tanques sépticos.

Este trabalho foi fomentado pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), com o financiamento da Financiadora de

Estudos e Projetos (FINEP) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e apoio da Caixa Econômica Federal (CEF) e Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) O PROSAB tem por objetivo apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias na área do saneamento, incluindo o lodo gerado pelos processos de tratamento de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos, utilizando sistemas de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção.

O Tema 6 – Lodo, na quinta edição do PROSAB, estudou o tratamento dos resíduos dos tanques sépticos, utilizando diversas tecnologias e discutindo seus resultados em uma rede de pesquisadores de várias instituições nacionais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa objetivou avaliar o tratamento do lodo de tanques sépticos, pré-tratado, combinado com esgoto sanitário bruto em Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB), em escala piloto.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- a) Investigar parâmetros de aplicação do lodo séptico em reatores UASB da estação piloto;
- b) avaliar o tratamento preliminar, o condicionamento e a equalização do lodo de tanques sépticos para tratamento combinado na estação piloto;
- c) monitorar a eficiência do tratamento nos reatores UASB em escala piloto;
- d) mensurar a influência de diferentes proporções em taxas crescentes de lodo em tanques sépticos no tratamento biológico;
- e) avaliar a estabilização do lodo anaeróbio proveniente de reatores UASB em escala piloto com tratamento combinado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Historicamente, o Brasil possui deficiências no setor de saneamento, em comparação com países desenvolvidos e até com outros países latino-americanos. Ocorrendo de forma heterogênea por todo o território nacional, esta deficiência atinge, principalmente, as parcelas mais pobres da população, que sofrem com problemas de saúde decorrentes da falta de saneamento.

Segundo a Fundação Nacional de Saneamento (FUNASA), a ausência de infra-estrutura sanitária é responsável por cerca de 65% das internações anuais em hospitais nacionais (FUNASA, 2010). Na falta de coleta adequada de esgotos, o material fecal permanece no domicílio, na vizinhança ou em outro local inadequado, o que leva à transmissão de doenças como diarreias, helmintoses, amebíases, problemas dermatológicos, infecções por cortes ou feridas, hepatite, cólera entre outras, que encontram nesses ambientes, facilidade a sua disseminação. Os efeitos da falta de saneamento são mais notados nos centros urbanos, pois além da população, os rios urbanos também são afetados.

Atualmente, segundo a mesma fonte (FUNASA, 2010), aproximadamente 98% dos municípios são servidos por redes de abastecimento de água, enquanto as redes de coleta de esgotos domésticos são encontradas em apenas 53% dos municípios aproximadamente. O último censo realizado no ano 2000 foi identificado que quase 78% dos domicílios brasileiros contam com rede de distribuição de água, 15% dos domicílios utilizam poços ou nascentes na propriedade e 7% utilizam outra forma de abastecimento (Figura 3.1).

Os atendidos por rede de coletora de esgoto representam 57% do total de domicílios em regiões urbanas. Contudo, nas regiões rurais representam apenas 53% do total (IBGE, 2008). Ou seja, por mais que haja distribuição de água tratada abrangente, a rede de esgoto alcança apenas pouco mais da metade dos municípios brasileiros.

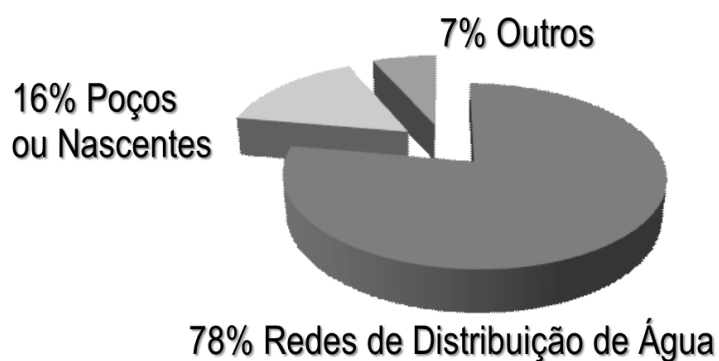


Figura 3.1 – Porcentagem dos tipos de atendimento de água potável em domicílios

Fonte: FUNASA (2010)

Outra característica desse panorama é que a distribuição da infraestrutura sanitária não ocorre igualmente em todo o país, como apresentado nas Figuras 3.2 e 3.3. É importante notar que a maior concentração de domicílios atendidos encontra-se na região sudeste, maior centro econômico brasileiro.

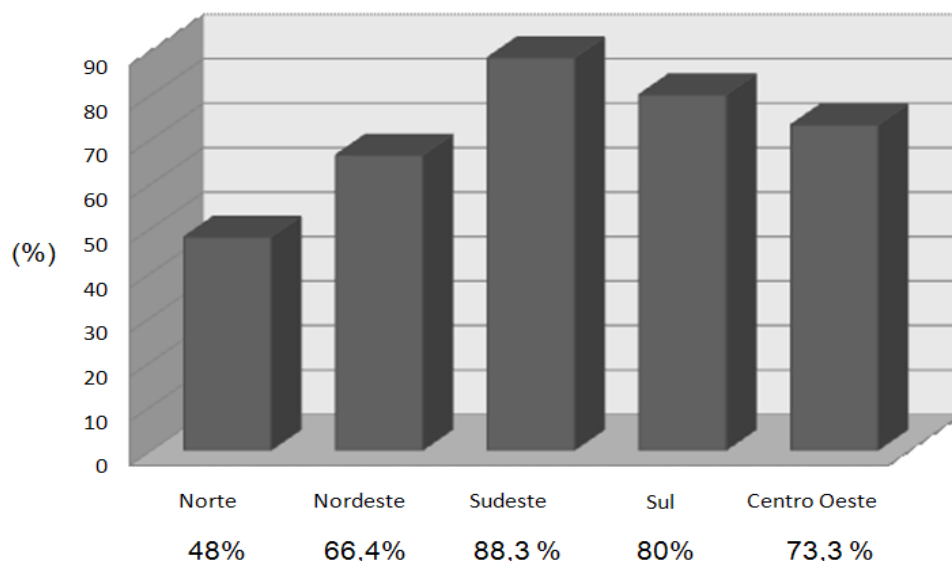


Figura 3.2 – Porcentagem dos domicílios brasileiros atendidas por rede de distribuição de água

Fonte: IBGE (2000)

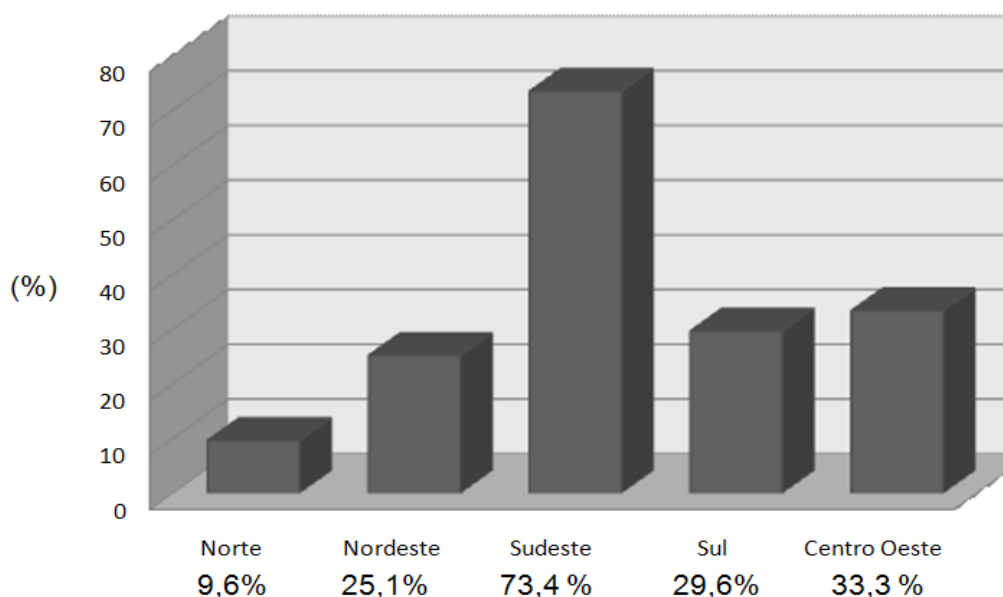


Figura 3.3 – Porcentagem dos domicílios brasileiros atendidas por rede coletora de esgotos
Fonte: IBGE (2000)

Apesar de coletados, os esgotos domésticos nem sempre passam por um processo de tratamento. Segundo dados publicados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 32% do esgoto coletado é tratado. Entretanto quando tratado, o nível de tratamento não é satisfatório, transmitindo às companhias de saneamento a responsabilidade pela poluição de rios urbanos. De forma geral, municípios de pequeno porte tendem a possuir infra-estrutura sanitária com maiores deficiências em relação às de maior porte, pois possuem dependência do financiamento municipal que nem sempre possui erário compatível com a demanda (MELO, 2008). Como alternativa para a falta de redes coletoras, o uso de tanques sépticos é bastante difundido. Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra em Domicílios (PNAD) referente ao ano de 2008, a adoção desse tipo de sistema corresponde a mais de um quinto (22%) de toda a destinação do esgoto no país, o que significa a sua existência em, aproximadamente 12 milhões de moradias. Essa aplicação é mais significativa nas regiões norte e sul do país, 24 e 33 % respectivamente (IBGE, 2008).

Os investimentos na área do saneamento tem acompanhado o padrão de crescimento brasileiro de forma a diminuir ao déficit atual. No triênio 2007-2010 divulgou-se um investimento de 40 bilhões de Reais pelo Governo Federal para investimentos na área de saneamento, incluindo drenagem

urbana, a serem aplicados, sobretudo na região sudeste do país. Mesmo contando com esse aporte de recursos e somados com os investimentos das companhias de saneamento, cerca de 70 milhões de habitantes não seriam beneficiados com qualquer melhoria. Segundo dados do Ministério da Saúde, serão necessários cerca de 8,65 bilhões de Reais por ano nos próximos 20 anos para universalizar os serviços de saneamento no Brasil (FUNASA, 2010).

Espera-se que os dados do próximo censo, iniciado em 2010, possa indicar melhoras no panorama do saneamento em todas as regiões do Brasil e refletir os resultados desses investimentos.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO DOMÉSTICO

Segundo Jordão e Pessoa (1999) a palavra esgoto servia para determinar tanto as tubulações utilizadas quanto o líquido que nele percorria. Atualmente a palavra esgoto é utilizada para indicar os despejos provenientes das diversas atividades de uso e de origem das águas, sobretudo aquelas que possuem características indesejáveis. Os esgotos podem ser classificados de acordo com sua origem em: esgoto industrial; esgoto pluvial; e esgoto doméstico.

As características do esgoto industrial são intimamente ligadas ao processo ao qual ele foi gerado, adquirindo determinadas qualidades e necessidades de tratamento específicas. Suas vazões geralmente são intermitentes e sua contribuição associada a grandes vazões. O esgoto pluvial é constituído, essencialmente, pelas águas das chuvas que acabam removendo partículas em suspensão da atmosfera e lixiviando à superfície de telhados, calçadas e à própria tubulação, transportando seus sedimentos. É tipicamente intermitente e sazonal e de composição variável (AISSE, 2000). O esgoto doméstico caracteriza-se por ser o meio de transporte dos rejeitos e dejetos oriundos das atividades humanas, sobretudo da utilização de sanitários, banhos e cozinhas.

Considera-se esgoto sanitário a somatória do esgoto doméstico, água de infiltração e uma parcela do esgoto industrial que possa ser caracterizado como semelhante em sua qualidade, ao esgoto sanitário. No Brasil, utiliza-se o

sistema separador absoluto, que segrega as águas oriundas do esgoto pluvial daquelas do esgoto sanitário. É comum encontrar interconexões entre a água de drenagem e o esgoto sanitário nesse sistema em ambos os sentidos, causando a contaminação com características indesejadas o esgoto pluvial, e ao contrário, diluindo e aumentando a vazão do esgoto sanitário (Von SPERLING, 1996; JORDÃO e PESSOA, 1999; e AISSE, 2000).

O termo “águas negras” é utilizado para denominar esgoto proveniente exclusivamente de bacias sanitárias, “águas cinzas” para esgotos provenientes de chuveiros, cozinhas e áreas de serviço. Para o esgoto doméstico, os termos “águas servidas” e “águas residuárias”, também são amplamente utilizados (JORDÃO e VOLSCHAN Jr., 2009).

As impurezas contidas no esgoto sanitário representam cerca de 0,1% da água utilizada para esse fim. Essa fração inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, assim como microorganismos. Essas características podem mudar de acordo com os usos e atividades características da população, situação econômica, ou por determinada variação de clima em um ano (Von SPERLING, 1996 e AISSE, 2000).

3.2.1. Aspectos quantitativos do esgoto doméstico

Parte ou a totalidade da água consumida para determinado uso retorna na forma de esgoto. Portanto, a quantidade de esgotos domésticos gerado depende intimamente dos padrões de consumo de água de determinada parcela da população. Da mesma forma com que ocorrem variações na distribuição da água de abastecimento, a geração de esgotos domésticos também varia de acordo com o consumo. Segundo a NBR 9.649/86 – Projeto de Redes de Coletoras de Esgoto Sanitário (ABNT, 1986), na falta de um hidrograma, utiliza-se coeficientes de variação para determinar as vazões de projeto de redes de esgoto. Essa quantidade varia significativamente de acordo com a capacidade econômica dos consumidores. Outros fatores (como pode ser observado na Tabela 3.1) também afetam na quantificação de água consumida.

TABELA 3.1 – FATORES DE INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Fator de influência	Comentário
Clima	Climas mais quentes e secos induzem a um maior consumo
Porte da comunidade	Cidades maiores geralmente apresentam maior consumo <i>per capita</i>
Grau de Industrialização	Localidades industrializadas apresentam maior consumo
Medição do consumo residencial	A presença de medição inibe um maior consumo
Custo da água	Um custo elevado reduz o consumo
Pressão da água	Elevada pressão induz a maiores gastos

FONTE: Adaptado de Von SPERLING (1996)

A relação existente entre a geração de esgotos domésticos e o consumo de água caracteriza-se pelo “coeficiente de retorno de esgotos”. Na falta de dados específicos, é comum estabelecer que 80% da água distribuída retornam na forma de esgotos domésticos. O restante perde-se por evaporação, infiltração no solo ou deriva-se ao sistema coletor de águas pluviais (Von SPERLING, 1996; e JORDÃO e PESSOA, 1999).

As águas de infiltração também acrescentam uma parcela significativa à vazão em redes de coleta de esgotos domésticos. Segundo a NBR 9.649/86 (ABNT, 1986), existe um aporte comum de vazões de águas de infiltração que variam entre 0,05 e 1,0 L s⁻¹ km.

De acordo com a NBR 7.229/93 – Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos (ABNT, 1993), o consumo *per capita* varia de acordo o padrão socioeconômico e com a atividade exercida, como apresenta a Tabela 3.2.

As parcelas referentes ao esgoto industrial variam para cada situação, pois cada indústria possui um processo de geração de esgotos diferente da outra, podendo variar a sua vazão sensivelmente em questão de horas ou dias. As vazões de esgoto industrial também variam de acordo com a vocação de cada região em possuir mais ou menos empresas que possam lançar os seus efluentes nas redes. Outro aspecto é de redes de coleta de esgotos receberem efluentes industriais que tenham passado por um processo de tratamento preliminar, permitindo o seu lançamento.

TABELA 3.2 – CONTRIBUIÇÕES UNITÁRIAS DE ESGOTOS
(L·unidade⁻¹·dia⁻¹)

Edificação	Unidade	Esgotos
Ocupação permanente		
Residência Alto Padrão	Pessoa	160
Residência Alto Padrão	Pessoa	130
Residência Alto Padrão	Pessoa	100
Hotel s/lavanderia e s/ cozinha	Pessoa	100
Alojamento provisório	Pessoa	80
Ocupação Temporária		
Fabricas	Operário	70
Escritórios	Pessoa	50
Edifícios Públicos e Comerciais	Pessoa	50
Escolas	Pessoa	50
Bares	Pessoa	6
Restaurantes	Refeição	25
Cinemas, Teatros	Lugar	2
Sanitários Públicos	Sanitário	480

FONTE: Adaptado de ABNT (1993)

3.2.2 Aspectos qualitativos do esgoto sanitário

A parcela de contaminantes presentes no esgoto necessita ser conhecida devido à diversidade das características físicas, químicas e biológicas que o esgoto sanitário pode apresentar. De posse dessas informações é possível conceber sistemas para o tratamento dos esgotos sanitários e as ações biológicas decorrentes do processo que permitam sua remoção.

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (2003) e Yanes (1984) *apud* Aisse (2000), o esgoto após análise em laboratório apresenta concentrações, que variam em função do volume de água consumido pelas pessoas. O acréscimo irregular das águas pluviais nos sistemas de coleta de esgoto também pode alterar as concentrações de esgoto em períodos chuvosos. Essas variações podem ser apresentadas como forte, média ou fraca conforme pode ser visto na Tabela 3.3. Tachini (2002) reuniu resultados de alguns autores que

avaliaram as características de esgotos sanitários como pode ser observado na Tabela 3.4.

TABELA 3.3 – COMPOSIÇÃO TÍPICA DO ESGOTO DOMÉSTICO

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO (mg L ⁻¹) ^a		
	FORTE	MÉDIA	FRACA
Sólidos totais	1200	720	350
Sólidos dissolvidos totais	850	500	250
Sólidos dissolvidos fixos	525	300	145
Sólidos suspensos fixos	75	55	20
Sólidos sedimentáveis	20	10	5
Demanda bioquímica de oxigênio	400	220	110
Demanda química de oxigênio	1000	500	250
Nitrogênio total	85	40	20
Nitrogênio orgânico	35	15	8
Nitrogênio amoniacal	50	25	12
Nitrogênio nitrato	0	0	0
Nitrogênio nitrito	0	0	0
Fósforo total	15	8	4
Fósforo orgânico	5	3	1
Fósforo inorgânico	10	5	3
Alcalinidade	200	100	50
Óleos e graxas	150	100	50
Coliformes total ^b NMP 100 mL ⁻¹	---	10 ⁸ -10 ¹⁰	---
Coliformes fecais ^b NMP 100 mL ⁻¹	---	10 ⁶ -10 ⁸	---

FONTE: (a) Tchobanoglous *et al.* (2003) (b) YANEZ (1984) *apud* AISSE (2000)

TABELA 3.4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Parâmetros	Moura ¹ São Paulo - SP	Aisse ² Curitiba - PR	Aisse ³ Campo Largo - PR	Kracik ⁴ Florianópolis -SC Continental	Kracik ⁴ Florianópolis -SC Insular
pH	6,5 – 7 6,7	5,7 – 6,8 6,5 ± 0,3	6,3 – 7,3 6,8 ± 0,3	5,9 – 8,3 6,7 ± 0,5	6,5 – 7,5 6,7
DQO Total (mg L ⁻¹)	59 – 873 335	298-494 375 ± 68	386-802 599 ± 135	100-815 408 ± 160	54-615 238 ± 191
DBO Total (mg L ⁻¹)	18,6 – 650 172	54-227 139 ± 75	176-211 194 ± 25	33-395 174 ± 75	53-353 176 ± 96
Alcalinidade a Carbonatos (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	- -	- -	- -	267 – 39 157 ± 42	192 – 57 112 ± 39
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	190 – 1050 479	330-539 438 ± 60	372-832 574 ± 154	31-9.124 1238±1733	240-811 435 ± 212
Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	31 - 716 176	124-207 154 ± 29	160- 430 244 ± 76	29 - 496 169 ± 116	16 -139 77 ± 38
Sólidos Voláteis (mg L ⁻¹)	72-441 213	86-149 116 ± 23	193-444 319 ± 83	- -	- -

FONTE: Modificado de (1) MOURA,(1991) *apud*, Aisse (2002) (2) AISSE (2001a); AISSE (2001b); KRACIK (1998).

3.3 TRATAMENTO ANAERÓBIO

Considera-se que o primeiro tratamento anaeróbio de esgoto sanitário foi a câmara vedada ao ar denominada “Fossa Automática Mouras”, desenvolvida na França, em 1882. Esse marco permitiu o desenvolvimento de outras câmaras como o Tanque Talbot, nos Estados Unidos (1884), o Tanque Séptico, na Inglaterra (1895) e o Tanque Imhoff de Câmaras Sobrepostas, na Alemanha (1905) (McCARTY, 1964, e FORESTI *et al.*, 1999).

Entre os anos 1920 e 1930, foram analisadas as interferências na digestão anaeróbia pela variação de fatores como temperatura, pH, alcalinidade e outros. Em 1960, Young e McCarty demonstraram a digestão por meios anaeróbios da matéria orgânica solúvel do esgoto. Na década seguinte, surgiram o Reator de Leito Fluidizado e o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. A partir de 1980 houve uma disseminação na aplicação de reatores anaeróbios, principalmente os do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (FORESTI *et al.*, 1999).

No Brasil, o uso de reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos acompanhou a tendência inicial de 1980, tendo sido adotado em todas as regiões do Brasil. Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), aproximadamente 21% dos sistemas implantados utilizam reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos, sendo mais significativo o seu uso, na região sul do país (57%) (IBGE 2008). Esses dados demonstram que os reatores anaeróbios representam uma parcela significativa no tratamento do esgoto doméstico.

Segundo Chernicharo (1997), entre as características favoráveis dos sistemas anaeróbios, duas delas devem ser ressaltadas: (1) a possibilidade de operar a unidade com elevado tempo de retenção de sólidos e (2) reduzido Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). O autor (*idib.*) cita outras vantagens e desvantagens apresentadas na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – CARACTERÍSTICAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO ANAERÓBIO

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 2 a 8 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;	As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;
Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos	Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;
Baixa demanda de área	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas;
Baixos custos de implantação. Da ordem de US\$ 20 à US\$ 30 <i>per capita</i> ;	Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis;
Produção de metano um gás combustível de elevado teor calorífico;;	Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;
Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;	Remoção de nitrogênio, fósforo e patogênicos insatisfatória;
Tolerância a elevadas cargas orgânicas;	
Aplicabilidade em pequena e grande escala;	
Baixo consumo de nutrientes;	

FONTE: CHERNICHARO (1997)

3.3.1 Aspectos da Digestão Anaeróbia

Um dos primeiros tratados sobre a digestão anaeróbia realizados foi realizado por McCarthy (1964), onde os princípios da microbiologia e da química que envolve os processos anaeróbios foram compilados e estruturados, dando subsídio para muitos trabalhos posteriores. As rotas metabólicas sugeridas por pelo autor sofreram algumas alterações a medida da elucidação da complexidade do processo anaeróbio. A transformação química do material orgânico que ocorre simultaneamente na célula, e denominado de metabolismo e pode ser atualmente dividido em duas categorias, segundo Von Sperling (1996):

- a) catabolismo ou desassimilação: processo de reações de produção de energia, nas quais ocorre a degradação do substrato;

- b) anabolismo ou assimilação: processo que acontece simultaneamente ao catabolismo, ocorrendo reações que conduzem à formação de material celular (crescimento), com o auxílio da energia liberada na desassimilação.

Os processos metabólicos ocorrem em etapas sequenciais: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese, a metanogênese, e ainda, podendo ocorrer a sulfetogênese. São processados pela ação de micro-organismos que se dividem em três grupos principais definidos como: bactérias fermentativas, bactérias sintróficas e arqueas metanogênicas. Esses três grupos principais serão responsáveis pelas diversas etapas do processo biológico (MCCARTY, 1964, BOUNDS, 1997, CHERNICHARO, 1997, e KORSACK, 2008)

Os dois tipos de catabolismo de interesse no tratamento de esgotos são: o catabolismo oxidativo, ou seja, a oxidação da matéria orgânica e o catabolismo fermentativo. O catabolismo oxidativo ocorre por reação de oxidação, em que a matéria orgânica é oxidada por um agente oxidante presente no meio líquido como, por exemplo, oxigênio, nitrato ou sulfato. No catabolismo fermentativo não há a presença de elemento oxidante, ocorrendo um rearranjo dos elétrons na molécula fermentada (CHERNICHARO, 1997).

A Figura 3.4 apresenta as rotas metabólicas e os grupos de organismos da digestão anaeróbia. O processo fermentativo, geralmente, ocorre sequencialmente para que os produtos se tornem estabilizados (Von SPERLING, 1996). As principais características do catabolismo são apresentadas na Tabela 3.6. Na tabela 3.7 são apresentados os principais aceptores de elétrons das reações de oxidação no tratamento de esgotos.

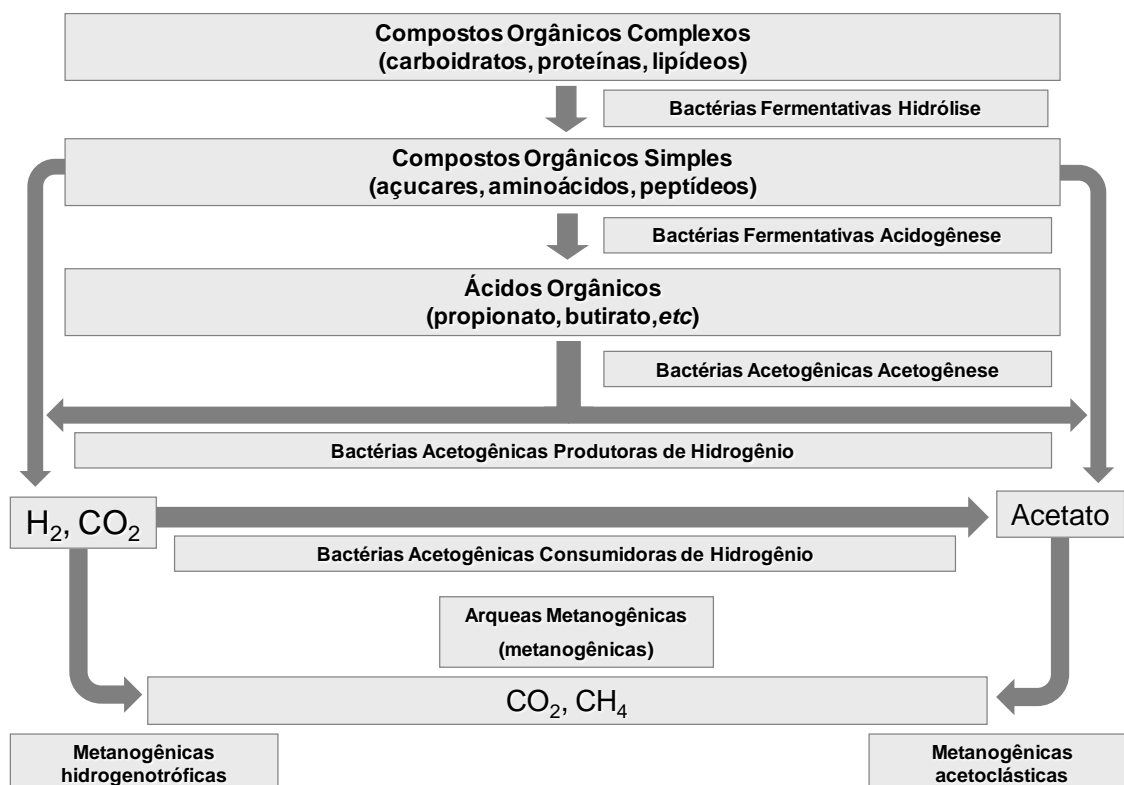


Figura 3.4 – Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

Fonte: Adaptado de LETTINGA *et al.* (1984), CHERNICHARO (1997)

TABELA 3.6 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS CATABOLISMOS OXIDATIVO E FERMENTATIVO

Características	Catabolismo oxidativo	Catabolismo fermentativo
Doador de elétrons	Matéria orgânica	Matéria orgânica oxidada
Aceptor de elétrons	Externo: composto inorgânico (oxigênio, nitrato ou sulfato)	Interno: matéria orgânica reduzida
Número de produtos finais resultantes da matéria orgânica	(CO ₂)	(CO ₂ + CH ₄)
Forma de carbono no produto final	Carbono inorgânico oxidado (CO ₂)	Carbono inorgânico oxidado (CO ₂) + carbono orgânico reduzido (CH ₄)
Estado de oxidação do carbono no produto final	4 + (CO ₂)	4 + (CO ₂) 4 - (CH ₄)

FONTE: Von SPERLING (1996)

TABELA 3.7 – ACEPTORES DE ELÉTRONS TÍPICOS DAS REAÇÕES DE OXIDAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTOS (EM ORDEM DECRESCENTE DE LIBERAÇÃO DE ENERGIA)

Condições	Aceptor de elétron	Forma do aceptor após a reação	Processo
Aeróbias	Oxigênio (O_2)	H_2O	Metabolismo aeróbio
Anóxicas	Nitrato (NO_3^-)	Nitrogênio gasoso (N_2)	Redução de nitratos (desnitrificação)
Anaeróbias	Sulfato (SO_4^{2-}) (CO_2)	Sulfeto (H_2S)	Redução de sulfatos (dessulfatação)
		Metano (CH_4)	Metanogênese

FONTE: Von SPERLING (1996)

Se houver vários aceptores de elétrons disponíveis no meio, o sistema utiliza aquele que produz a mais alta quantidade de energia. Assim, em meio líquido, o oxigênio dissolvido é utilizado primeiramente até a sua exaustão. Caso haja nitratos disponíveis, os organismos específicos passam a utilizar o nitrato para a respiração, convertendo o nitrato a nitrogênio gasoso (desnitrificação). Estas condições, denominadas anóxicas, ou seja, reações que ocorrem na ausência de oxigênio dissolvido, mas na presença de nitratos. Quando o oxigênio dissolvido se extingue, tem-se a condição anaeróbia, em que a utilização dos sulfatos, que são reduzidos a sulfetos e o dióxido de carbono, presente após a acetogênese, é convertido a metano. Enquanto houver substâncias que liberam maior quantidade de energia, as de menor poder energético não serão utilizadas (Von SPERLING, 1996).

A atividade dos microrganismos está diretamente relacionada aos fatores ambientais do meio. Certamente, a composição química do meio é de extrema importância nos processos. Condições nutricionais e físicas proporcionam a seleção dos organismos mais adaptados ao ambiente. De acordo com CHERNICHARO (1997), os fatores físicos, em geral, atuam como agentes seletivos, enquanto os fatores químicos podem, ou não, ser seletivos. Para cada fator, como pH, temperatura, nutrientes, grupos de bactérias presentes, existem faixas consideradas ótimas para o seu desenvolvimento e outras que podem ser prejudiciais.

3.4 TANQUES SÉPTICOS

Os tanques sépticos, decanto-digestores ou fossas sépticas são unidades de tratamento, físico e biológico, que detêm os esgotos domésticos por um período que permita a decantação dos sólidos e a retenção do material graxo, transformando-os em compostos estáveis (JORDÃO e PESSOA, 1999 CAMPOS e ANDRADE NETO, 1999 e VAN HAANDEL *et al.*, 2006).

Essas unidades de tratamento possuem uma eficiência na remoção de DBO que varia entre 30% a 40%, utilizadas para pequenas vazões ou áreas de grande adensamento e desprovidas de rede coletora. Os tanques sépticos promovem, simultaneamente, processos de sedimentação, digestão e armazenamento da matéria orgânica e pode ter sua função descrita como: retenção, decantação, digestão e redução de volume (JORDÃO e PESSOA, 1999). Calcula-se o armazenamento do lodo nos tanques para que ocorra a retirada deste lodo de 1 a 5 anos segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993).

Mesmo o efluente dos tanques sépticos, que apresentam odor e elevado teor de DBO, promove reduções na carga poluidora de esgotos brutos, quando nenhum outro sistema de tratamento de esgotos possa ser aplicado.

Existem tipologias e configurações diferentes. Aqueles que possuem seu tanque completamente estanque são denominados de tanques sépticos propriamente ditos, e podem ter uma ou mais câmaras de digestão e possuir, uma câmara de sedimentação interna (para tanques com câmara sobreposta). São comumente denominadas fossas sépticas, estruturas similares aos tanques sépticos, porém destinadas a destinação final do esgoto, pois possuem permeabilidade da fase líquida no solo (HELLER e CHERNICHARO, 1996 e LEITE *et al.*, 2006, e VAN HAANDEL *et al.*, 2006).

Os tanques sépticos podem ser classificadas em função do número de câmaras: única, duas (sobrepostas ou em série), múltiplas, de sua forma: cilíndrica, prismática, retangular. Os múltiplos compartimentos também são utilizados com a finalidade de diminuir a quantidade de sólidos no efluente (AISSE, 2000).

Resultado do processo de digestão da matéria orgânica, o lodo séptico é uma mistura parcialmente digerida de material sólido e líquido presente no

A composição do lodo séptico é compreendida na maior parte por água, esgoto, material inorgânico (areia) e material orgânico (LEITE *et al.*, 2006). A heterogeneidade de seus compostos é propriedade marcante, função de alguns fatores como frequência de limpeza, características do efluente e mistura nos caminhos de coleta. Estudos mostram que o lodo coletado pelas empresas imunizadores apresentam variações desde a composição semelhante ao esgoto sanitário a aquela típica do lodo.

As concentrações de amônia e ovos de helmintos podem chegar a dez vezes mais que em águas residuais (MONTANGERO *et al.* 2000 *apud* LEITE, *et al.*, 2006). O lodo pode ser classificado quanto à estabilidade (alta ou baixa) de acordo com o grau de digestão sofrida. Assim, o tempo de permanência do lodo no tanque séptico é o grande responsável pela estabilização. Na Tabela 3.8 é apresentada a composição do lodo séptico.

TABELA 3.8 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO SÉPTICO

Variável	Jordão e Pessoa (2005)		USEPA (2002)	
	Média (mg.L ⁻¹)	Típica (mg.L ⁻¹)	Média (mg.L ⁻¹)	Típica (mg.L ⁻¹)
Sólidos Totais	-	-	34.100	1.100 a 130.400
Sólidos Totais Voláteis	-	-	23.100	353 a 71.400
Sólidos Suspensos voláteis	15.000	2.000 a 100.000	12.800	310 a 93.300
DBO	6.000	2.000 a 30.000	6.400	440 a 78.600
DQO	-	-	31.900	1.500 a 703.000
NTK	700	100 a 1.600	580	66 a 1.000
N-Amoniacal	400	100 a 800	87	3 a 116
Fósforo	250	50 a 800	210	20 a 760
Óleos e Graxas	8.000	5.000 a 10.000	5.600	200 a 23.300

FONTE: MONTANGERO *et al.* (2002) *apud* LEITE *et al.* (2006)

Além de sua grande variabilidade, o lodo séptico apresenta algumas outras características. Segundo EPA (1984) o lodo séptico possui má sedimentabilidade. Para sistemas de tratamento que dependem da capacidade de sedimentação do lodo, como tanques de sedimentação, por exemplo, é de extrema importância que sejam feitos ensaios para verificar a capacidade de sedimentação do lodo ou da mistura de lodo e esgoto doméstico (Heinss e Strauss, 1999). A concentração elevada de óleos e graxas é fator importante (acima de 300 mg L⁻¹) que pode afetar negativamente a capacidade de sedimentação.

Geralmente, os lodos sépticos possuem baixa quantidade de metais e demais poluentes, possuindo coloração escura e odor característico resultante da presença de gás sulfídrico e outros gases (JORDÃO e PESSOA, 1999; LEITE *et al.*, 2006, e PAULA Jr. *et al.*, 2003).

Apesar do potencial poluidor, não é incomum a existência de relatos de destinações inadequadas do lodo séptico em terrenos baldios, poços de visita da rede de coleta de esgoto ou até mesmo despejado em cursos de água e redes de drenagem urbana (STRAUSS e MONTANGERO, 2002).

3.5 REATORES UASB

Os reatores UASB visam segregar os gases, sólidos e líquidos presentes no processo de tratamento de águas residuárias. No Brasil, são também conhecidos com as siglas DAFA ou RAFA, ou seja, Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, respectivamente. Os reatores UASB têm como principais parâmetros o controle dos tempos de detenção de sólidos, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas, bem como a velocidade ascensional (Von SPERLING, 1996, LETTINGA, 2005).

Desenvolvido pelo Prof. Gatze Lettinga ao final da década de 70, foi primeiramente concebido para tratamento de efluentes industriais, sendo progressivamente aplicado ao tratamento de esgotos domésticos. Os reatores anaeróbios de manta de lodo dispunham formato cilíndrico ou prismático-retangular, tendo as áreas destinadas para a digestão e decantação. Com relação aos esgotos domésticos, à exceção de haver estação elevatória, o reator fica exposto a toda sorte de variações de vazão e de carga orgânica, que indica um aumento da seção transversal para garantir, nos picos de vazão, as necessárias e baixas velocidades ascensionais (CAMPOS e ANDRADE NETO, 1999).

Em planta, os reatores podem ter forma circular ou retangular, sendo que os primeiros se apresentam maior economia sob o aspecto estrutural para o atendimento de pequenas vazões (GERARDI, 2003).

A Figura 3.5 apresenta um reator projetado pela SANEPAR, que recebeu o nome de RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado), após algumas introduções construtivas.

Semelhante ao que se processa no tanque séptico, o sistema utiliza uma única unidade em seu interior onde se processam os fenômenos de decantação e digestão anaeróbia do substrato orgânico. O lodo formado é sedimentado e fica concentrado na parte inferior do reator, sendo mantido em suspensão pela ação ascendente dos efluentes sanitários (manta de lodo), por onde os efluentes sanitários atravessam quando entram no reator. Tem-se, então, uma ação dos micro-organismos anaeróbios sobre a matéria orgânica. Após essa passagem, o líquido se direciona para uma zona de decantação existente na parte superior do reator (Von SPERLING, 1996).

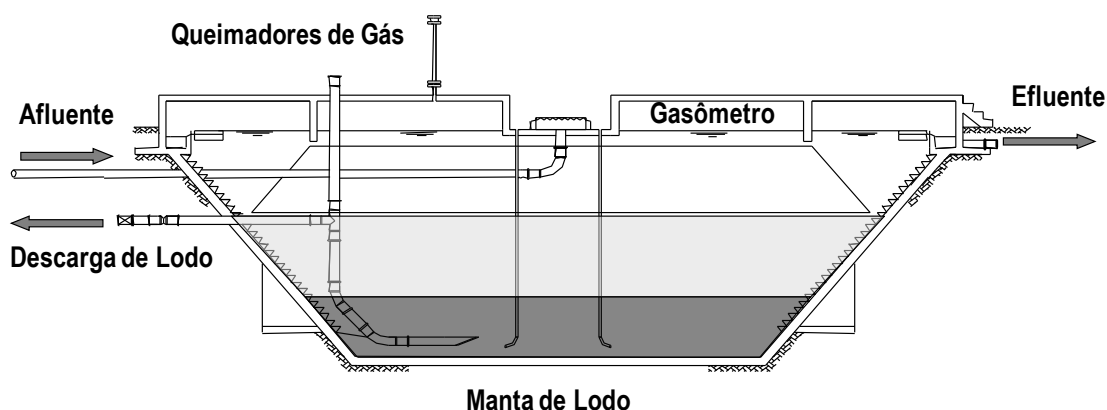


Figura 3.6 – Reator RALF adotado pela SANEPAR
Fonte: Adaptado de AISSE (2000)

Enquanto o líquido é decantado em uma canaleta coletora, o lodo é sedimentado e incorporado à manta de lodo existente no fundo do reator. O efluente final tratado poderá, então, ser encaminhado para tratamento complementar ou mesmo ser direcionado ao corpo receptor, desde que tenha a anuência do órgão ambiental competente (GERARDI, 2003).

3.5.1 Parâmetros de Dimensionamento

Como parâmetros de dimensionamento, alguns valores necessitam ser estudados para determinar o volume total do reator dentre eles, a Carga Orgânica Volumétrica (COV), o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) e a Carga Hidráulica Volumétrica (CHV), são os mais significativos.

A COV é a quantidade de matéria orgânica (massa) aplicada diariamente ao reator, por unidade de seu volume e é calculada pela Equação 3.1.

$$COV = \frac{Q \times S}{V} \quad (3.1)$$

Onde:

COV = carga orgânica volumétrica (kg DQO m⁻³.d⁻¹);

Q = vazão afluyente (m³ d⁻¹);

S = concentração de substrato afluyente (kg DQO m⁻³);

V = volume total do reator (m³).

Apesar de serem adotadas nos projetos de estações de tratamento tipo UASB COV inferiores a 15 kg DQO m⁻³ d⁻¹. Para os efluentes sanitários, de baixa concentração, a carga orgânica quase sempre inferior a 2,5 a 3,0 kg DQO m⁻³ d⁻¹ não se apresenta como parâmetro impeditivo. COV mais elevadas já foram aplicadas com sucesso (CHERNICHARO, 1997).

O seu dimensionamento é realizado pela CHV, que é tido pelo volume de esgotos introduzidos diariamente no reator por unidade de seu volume, e equivale ao inverso do TDH na unidade. Para a determinação do TDH e CHV, utiliza-se as Equações 3.2 e 3.3 respectivamente.

$$TDH = Q / V \quad (3.2)$$

Onde:

TDH = tempo de detenção hidráulica (d);

V = volume total do reator (m^3)

Q = vazão ($m^3 d^{-1}$).

$$CHV = V / Q \quad (3.3)$$

Onde:

CHV = carga hidráulica volumétrica ($m^3 \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$).

V = volume total do reator (m^3)

Q = vazão ($m^3 d^{-1}$).

Estudos e análises apontam que a CHV não deve exceder o valor de $5,0 m^3 \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$, correspondendo a TDH mínimo de 4,8 horas (CAMPOS e ANDRADE NETO, 1999). Já valores superiores de CHV ou inferiores em TDH , podem acarretar nos seguintes inconvenientes (CHERNICHARO, 1997):

- perda excessiva de biomassa do sistema;
- redução do tempo de residência celular (idade do lodo) e consequente diminuição do grau de estabilização dos sólidos;
- Possibilidade de falha do sistema, uma vez que o tempo de permanência da biomassa no sistema pode ser inferior ao seu tempo de crescimento.

O TDH é relevante por ter relação direta com a velocidade do processo de digestão anaeróbia, que está conexo com o tamanho da unidade de tratamento. Relacionado a uma temperatura média de $20^\circ C$, esse parâmetro pode variar de 6 a 16 horas. Para os efluentes sanitários com temperatura em torno de $20^\circ C$, adota-se para a vazão média TDH em torno de 8 a 10 horas. Para a vazão máxima, deve-se adotar TDH superior a 4 horas, sendo que para os picos de vazão máxima, o TDH não deve ser excedido de 4 a 6 horas (LETTINGA e HULSHOFF, 1991, HICKEY *et al.*, 1991, e CHERNICHARO, 1997).

).

3.6 TRATAMENTO COMBINADO DE LODO SÉPTICO E ESGOTO DOMÉSTICO

O tratamento do lodo pode ser realizado de forma isolada em digestores anaeróbios, lagoas de estabilização, *wetlands*, estabilização alcalina, secagem com calor, valas de infiltração e destinação em aterros industriais, são as mais comuns deste tipo de tratamento. Outra forma de tratamento do lodo séptico é combinando o lodo com algum outro tipo de tratamento de lodos ou de águas residuárias, permitindo com que algumas ETEs recebam despejos de lodo de tanques sépticos e promovam o tratamento conjuntamente, incluindo o esgoto doméstico. Esse tipo de procedimento, se feito sem critérios, não assegura o seu tratamento e pode prejudicar a eficiência do sistema. Teores muito altos de sólidos suspensos e outros problemas operacionais podem resultar em diminuição significativa da eficiência do tratamento.

Resch (1982), *apud* Heinss e Strauss (1999), verificou que as cargas intermitentes de lodo séptico, aplicado a um sistema de lodos ativados, resultaram em deterioração na ordem de 20 a 30% na eficiência da remoção de DBO, em relação ao fornecimento de carga contínua ao sistema. Para tanto, alguns critérios e parâmetros deverão ser analisados para uma boa operação do sistema de tratamento combinado, para que não haja deterioração do efluente final.

Algumas recomendações já foram levantadas quanto ao tratamento combinado de lodo séptico. Segundo empresa de consultoria na área de saneamento, o lodo deverá ser submetido a tratamento preliminar antes de ser aplicado no sistema de tratamento. O objetivo desta operação é remover materiais grosseiros e areia que possam ser inadequados aos processos biológicos e que possam prejudicar a operação do sistema, como entupimentos de tubulações e danos em bombas hidráulicas. A malha da peneira deve estar próxima a 13 mm (XCG, 2005). Continuando no conceito de pré-tratamento, Heinss e Strauss (1999) recomendam que o lodo séptico deverá estar diluído antes de sua aplicação, possivelmente para diminuir os efeitos de choque de carga que o lodo séptico pode causar ao sistema. O pré-tratamento poderá ser

feito em unidade independente ou a montante do sistema, dependendo da proposta do tratamento combinado.

Alguns estudos já foram realizados para verificar o impacto do lodo séptico em sistemas de tratamento de águas residuárias. Godoy *et al.* (2007) estudaram o efeito de descarga de caminhões limpa-fossa em ETEs de pequeno porte, no caso um sistema UASB + Biofiltro Aerado Submerso (BAS), para 800 pessoas. O lodo, aparentemente diluído, é descarregado três vezes por semana, havendo de seis a oito lançamentos de 3 m³, em cada descarte. Os autores concluíram que, após a estabilização do reator UASB, o impacto do lançamento do lodo, na quantidade de 4% da vazão afluente, foi absorvido. A Tabela 3.9 apresenta alguns resultados de pesquisas sobre o lançamento de lodo séptico em ETEs.

CAMPOS *et al.* (2009) apoiam o uso de ETEs contanto que sejam bem operadas, sejam feitas análises dos resultados de caracterização do afluente e do efluente, e do desempenho de cada operação e processo. O acompanhamento do consumo de produtos químicos, de energia e de geração de lodo na ETE também é importante para essa avaliação. Séries históricas de resultados operacionais assumem papel essencial para essas observações.

TABELA 3.9 – TRABALHOS SOBRE LANÇAMENTO DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS EM ETEs

Autor	Local	Cenário	Resultados relacionados com impactos
BISCHOFFS, BERGER <i>et al</i> (1987)	Alemanha	Operação de digestor anaeróbio.	A digestão anaeróbia com até 50% de lodo de tanques sépticos não foi prejudicada.
HEINSS, STRAUSS (1999)	—	Não definido.	O lodo de tanque séptico tem má sedimentabilidade. A presença de óleos e graxas dificulta a sedimentação.
TACHINI (2002)	Blumenau - SC	Lodo de tanque séptico (não quantificado no trabalho) é lançado em uma ETE com reator UASB ($V \cong 1210 \text{ m}^3$) que recebe vazão média de cerca de $13,2 \text{ L.s}^{-1}$	Não houve prejuízo na remoção de DQO, porém, houve maior instabilidade na qualidade do efluente do reator e aumento de ST no efluente.

TABELA 3.9 – TRABALHOS SOBRE LANÇAMENTO DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS EM ETEs (cont.)

Autor	Local	Cenário	Resultados relacionados com impactos
ROCHA, SANT'ANNA (2005)	ETE Jarivatuba Joinville - SC	A ETE é constituída por lagoas em série (duas anaeróbias paralelas, uma facultativa e três de maturação); recebe cerca de 27.594 m ³ de lodo de tanque séptico por ano. O lodo é lançado em leitos de secagem e o líquido drenado tem acesso às lagoas anaeróbias.	Não há dados sobre impacto.
VIEIRA, <i>et al.</i> (2005)	ETE Lages – Aparecida de Goiânia - GO	Cerca de 10 caminhões de lodo por dia são descarregados em ETE com dois reatores UASB, seguidos por lagoas, projetada para vazão média de 50 L.s ⁻¹ .	Não há abordagem aprofundada e específica sobre impactos. A ETE estava em fase inicial de operação, porém, na 29ª semana de operação ocorreu queda na remoção de DQO (com picos de até 140%, no efluente)
LEITE, <i>et al.</i> (2006)	ETE Belém Curitiba - PR	A ETE (processo aeróbio) com vazão média de cerca de 1 m ³ .s ⁻¹ recebe mensalmente 3.309 m ³ .mês ⁻¹ de lodo de tanques sépticos (cerca de 462 caminhões – lançado na rede), sendo cerca de 63,4% advindo de residências. A porcentagem de lodo em relação ao esgoto era da ordem de 0,128%.	Não há dados específicos sobre impactos, porém, aparentemente, o efeito foi desprezível no que concerne ao desempenho da ETE
PIEROTTI (2007)	ETE – Distrito de Água Vermelha São Carlos - SP	Cerca de 50 a 70 m ³ por semana de lodo de fossas são lançados em ETE constituída por reator UASB seguido por biofiltro aerado submerso. O reator UASB (245 m ³), quando operado com tanque de detenção hidráulica média de 8 h, alcançou eficiência média de 40% e máxima de 60%.	Não se notou queda sensível na eficiência de remoção de DQO (porém, grandes oscilações) na qualidade do efluente. A remoção de sólidos suspensos chegou a cair de 60% para 29%. Fato interessante que merece ser destacado é a elevada geração média de lodo decorrente das descargas de lodo (0,57 kg SST.kg ⁻¹ DQO aplicado) muito superior em relação àquela que ocorre sem o lançamento de lodo.
GONÇALVES (2008)	ETE Piloto Campus USP São Carlos - SP	Dois reatores UASB (piloto) com tempo de detenção hidráulica de 8 h, recebendo descargas controladas de lodo de tanque séptico.	Aplicação de até 2/3 de lodo septic em relação a vazão de esgotos não afetou o sistema.

Quando se trata de ETEs de médio e grande porte, geralmente há laboratório de apoio e acompanhamento dos processos e operações, por

profissionais especializados, 24 horas por dia, o que fazem essas estações, as mais indicadas para o recebimento de lodo séptico. Pequenas ETEs, além de serem mais vulneráveis às descargas de lodo, em muitos casos, infelizmente, não têm o mesmo padrão de qualidade, como o que ocorre na operação daquelas de médio e grande porte. Em casos em que se têm sistemas de lagoas de estabilização, por exemplo, geralmente, a presença de operadores e o monitoramento do afluente ainda são mais precários (CAMPOS *et al.*, 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 INSTALAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada nas dependências da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Belém, onde está instalada em anexo, uma estação piloto, que foi utilizada para o desenvolvimento do projeto. A ETE Belém utiliza-se do processo de tratamento aeróbio, por meio de aeração prolongada, em valo de oxidação tipo *Carrossel*. Pertencente à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), iniciou sua operação em 1980, com capacidade para receber o esgoto de 500.000 habitantes e uma vazão média de $0,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A estação está localizada no bairro Boqueirão, Município de Curitiba e atende à Bacia do Rio Belém, a mais populosa do Município.

A estação piloto foi construída em 1999 para contemplar o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) e encontra-se em uma área contígua ao desarenador da ETE (Figura 4.1). Para o desenvolvimento do projeto, foram construídas e também reformadas diversas estruturas para adequar a estação piloto às novas necessidades.



Figura 4.1 –Instalação Piloto para o tratamento de esgotos junto a ETE Belém
Fonte: Aisse (2002)

A figura 4.2 apresenta um diagrama com os elementos e a configuração do sistema utilizado para a pesquisa.

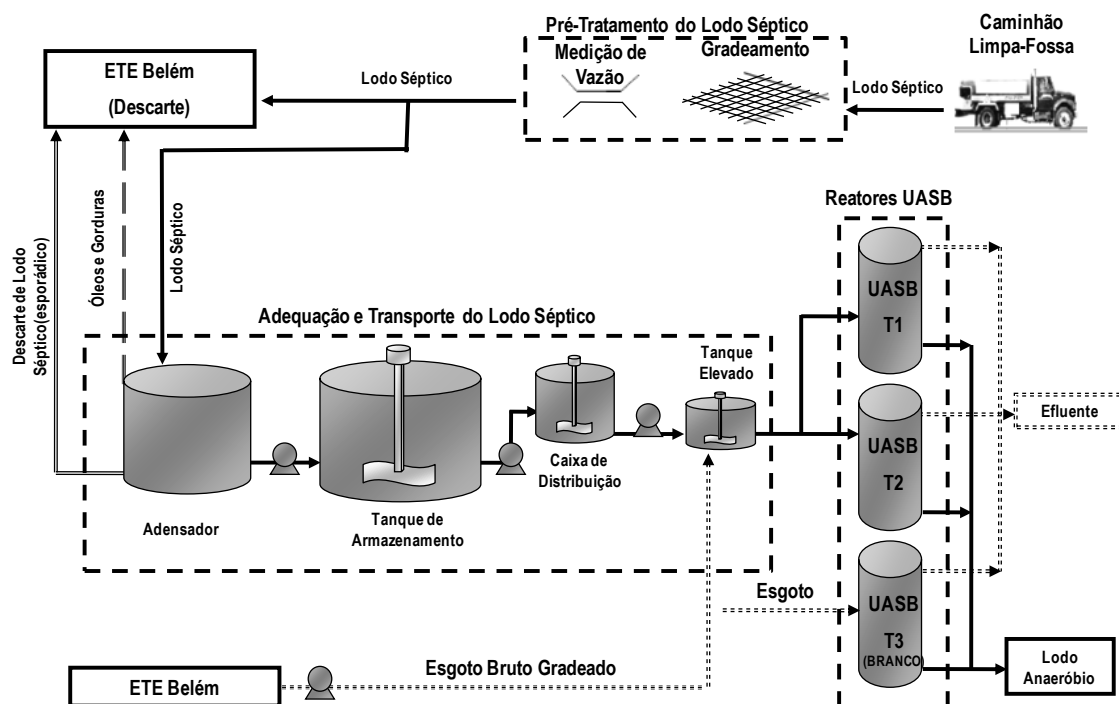


Figura 4.2 –Diagrama das instalações piloto utilizada na pesquisa

4.1.1 Tratamento do Esgoto

O piloto possui três Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (*Upflow anaerobic Sludge Blanket* - UASB), em fluxo ascendente, construídos em tubos de concreto, denominados T1, T2 e T3. Possuem diâmetro interno de 0,80 m por 4 m de altura, e volume de 2 m³, tendo em sua concepção um decantador interno e gasômetro fabricados em fibra de vidro (Figura 4.3).

Para a alimentação dos reatores T1, T2 e T3, um conjunto moto-bomba centrífuga submersível de rotor aberto, de pequeno porte, de fabricação ABS, modelo Robusta 300T, de 1,0 CV foi instalado no canal de entrada do desarenador da ETE Belém. O conjunto enviou esgoto bruto ao reservatório elevado (Figura 4.4), fabricado em fibro-cimento e capacidade de 500 L. A partir desse ponto, o esgoto bruto era distribuído para cada um dos três reatores UASB. A bomba era protegida por uma chapa metálica no formato de “quilha”, no intuito de proteger a bomba de materiais grosseiros que não eram retidos pelas unidades de gradeamento mecanizado da ETE Belém. O gradeamento da estação retém materiais com diâmetro superior a 2 cm que

são transportados mecanicamente, a intervalos regulares, a um container por meio de uma correia transportadora. Na fase final do projeto, o conjunto moto-bomba teve que ser substituído devido ao desgaste de seu rotor, em função da abrasividade do esgoto bruto, por outro conjunto moto-bomba centrífuga submersível trituradora, de fabricação ABS, modelo Piranha, o qual permaneceu até o final da pesquisa.

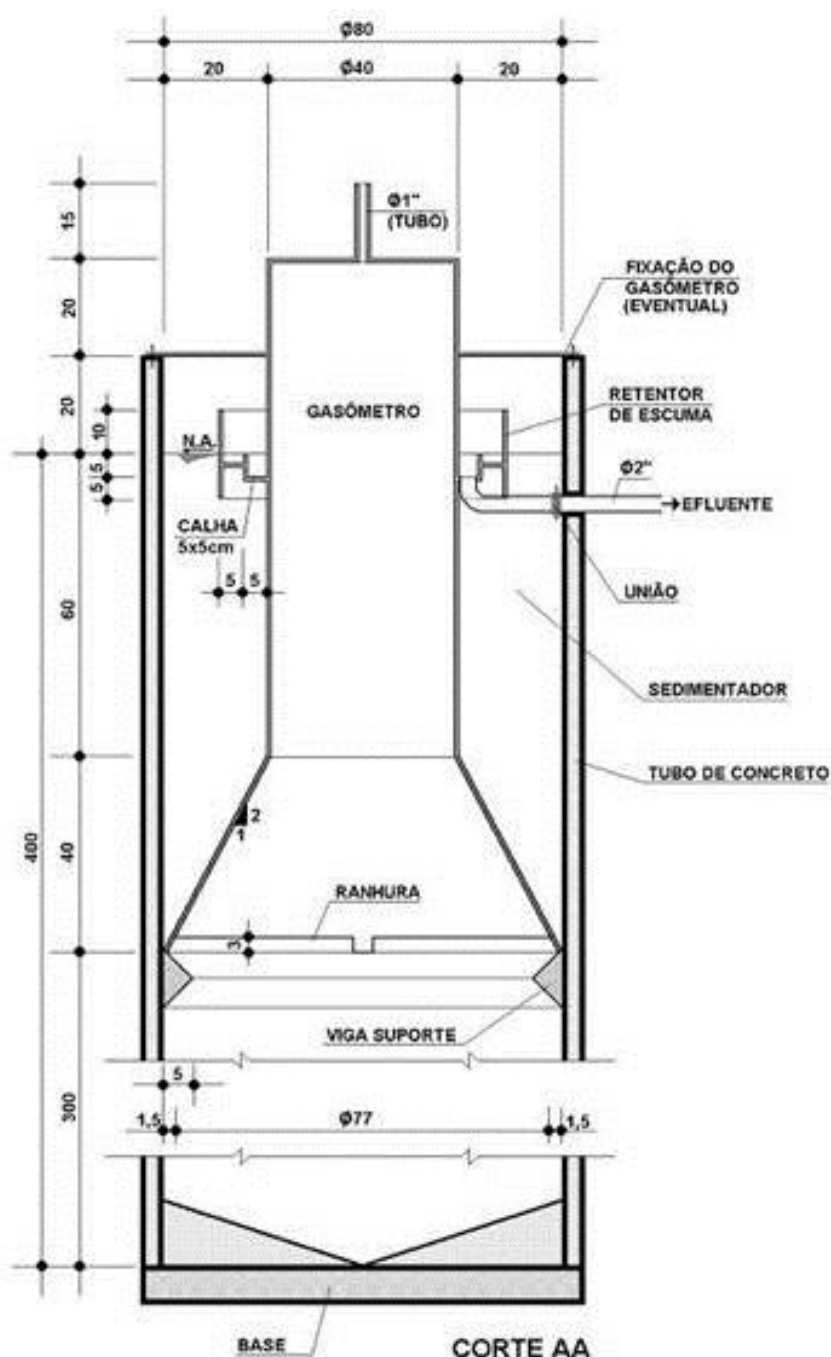


Figura 4.3 – Corte longitudinal do reator UASB Piloto
Fonte: Aisse (2002)



Figura 4.4 –Torre e Reservatório Elevado da Estação Piloto

Uma bomba peristáltica de marca MILAN, modelo BPI 713.25.19-DUPLA (Figura 4.5), com dois canais, dotado de inversor de frequência, desenvolvida exclusivamente para o projeto, foi utilizada de forma a garantir a vazão para os reatores T1 e T2. Porém, na fase inicial do projeto, a bomba peristáltica apresentou problemas com entupimentos constantes devido a quantidade de sólidos em suspensão presente no esgoto bruto. A mangueira de silicone instalada na bomba rompia-se e tinha que ser trocada constantemente, prejudicando a dosagem de esgoto. A mangueira foi substituída por uma mangueira de Marprene, de composição mais resistente. Porém os eventos de ruptura, em menor frequência, permaneceram o que elevou o custo de operação, resultando no abandono do uso da bomba para a dosagem de esgoto bruto, sendo então utilizado vertedor tubular, similar ao já utilizado no reator T3.



Figura 4.5 – Uma bomba peristáltica MILAN modelo BPI 713.25.19-DUPLA

Os vertedouros foram confeccionados em tubulação de PVC de 2”, possuindo cerca de 40 cm de altura cada um. Foram perfurados três orifícios nos tubos de PVC logo abaixo da lâmina d’água do reservatório elevado. Os orifícios foram calibrados de forma a contribuir com a vazão de esgoto bruto aplicada aos reatores. Estes orifícios eram bastante sensíveis a obstruções por material flotante oriundo do esgoto. Sendo assim, a tubulação de 2” foi protegida por um tubo de PVC de 50 mm, perfurado ao longo de toda sua superfície, com orifícios de 1 cm de diâmetro. Ainda contribuindo para proteger a tomada de esgoto pelos vertedouros, foi confeccionado um crivo em ferro e aço, posicionado logo após a saída da tubulação do esgoto afluyente ao reservatório elevado (Figuras 4.6 e 4.7).



Figura 4.6 – Reservatório Elevado da Estação Piloto Vazio



Figura 4.7 – Reservatório Elevado da Estação Piloto Cheio

4.1.2 Recebimento do Lodo

Para o lodo de tanque séptico foi construído um canal elevado em concreto, doravante denominado amostrador, dotado de peneira e medidor de vazão, onde foram feitas as descargas dos caminhões limpa-fossa. O amostrador funcionou como um pré-tratamento do lodo séptico além de possibilitar a coleta padronizada das amostras individuais, para compor uma amostra representativa. A peneira, fabricada em ferro fundido e com espaçamento de 5 mm entre barras, teve o objetivo de retirar materiais grosseiros que poderiam estar presentes no lodo. A medição da vazão, realizada por meio de uma calha Parshall marca Environquip, pré-fabricada em fibra de vidro e com dimensão $W = 3''$, teve também como função o controle da tomada da alíquotas das amostragens (Figuras 4.8 e 4.9).

Com o auxílio dos operadores do caminhão, o lodo séptico era bombeado sob pressão ao amostrador, com o uso da mangueira de coleta do próprio caminhão, utilizando o registro esfera para regular a vazão do lodo procurando mantê-la constante. O amostrador possui um sistema de comportas metálicas, logo após o medidor de vazão, acionadas manualmente de forma a separar as vazões, ora para descarte (ETE Belém), ora para o tanque adensador e a para a coleta de amostra.

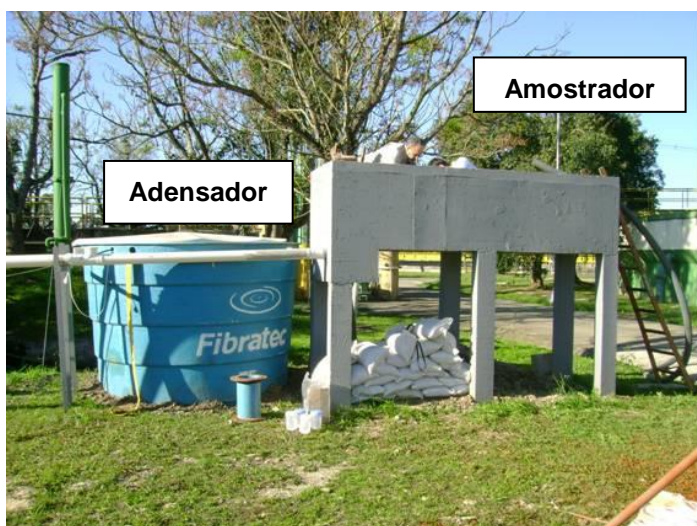


Figura 4.8 –Amostrador, Adensador e Tanque de Armazenamento



Figura 4.9 – Detalhe do Amostrador –Calha Parshall

Na saída do sistema amostrador foi instalada uma unidade para adensamento do lodo, que objetivou separar o excesso de gordura que possivelmente poderia estar presente no lodo, além disso descartá-lo, caso apresentasse valores baixos de Sólidos Totais (ST) ou outra característica que impossibilitasse o seu uso. O adensador possui um volume útil de 7 m³ e tempo de detenção hidráulico de no mínimo 24 horas. Parte do lodo adensado (fundo) era encaminhado para o tanque de armazenamento e o material restante, composto pela parte sobrenadante com concentrações de gorduras que poderiam prejudicar o tratamento, descartado e encaminhado ao afluente da ETE Belém.

Um conjunto moto-bomba centrífuga submersível trituradora, de fabricação ABS modelo Piranha foi o responsável pelo transporte do lodo do adensador ao tanque de armazenamento (ou ao descarte) como pode ser visto nas Figuras 4.10 e 4.11. Quando do evento de manutenção da bomba alimentadora ABS Robusta, a moto-bomba ABS Piranha foi colocada no canal da ETE Belém substituindo a ABS Robusta. Após a manutenção a moto-bomba Robusta foi colocada no adensador.



Figura 4.10 –Tubulação de alimentação do tanque de armazenamento ou descarte de lodo



Figura 4.11 – Adensador e Bomba ABS Piranha

Em pesquisas anteriores, foi construída na estação piloto uma bacia de infiltração que foi adaptada para a presente pesquisa, como um tanque de armazenamento, garantindo um volume 4500 L de lodo séptico. Foi instalado no tanque um misturador rápido de eixo vertical, com potência de 0,75 CV que teve por objetivo armazenar, homogeneizar manter em suspensão o lodo, para a aplicação nos reatores UASB (Figuras 4.12 e 4.13).



Figura 4.12 –Tanque de Armazenamento



Figura 4.13 –Tanque de Armazenamento sob agitação

Em seguida o lodo era enviado por bateladas a um reservatório de volume de 500 L, dotado de misturador lento de baixa potência, para evitar possível sedimentação do lodo. Um conjunto moto-bomba helicoidal de

deslocamento positivo, de fabricação Netzsch, modelo Nemo de 0,75 CV foi utilizado para fazer o transporte do lodo séptico do tanque de armazenamento ao reservatório com o misturador. A partir deste reservatório, o lodo séptico foi dosado aos reatores UASB por meio de uma bomba peristáltica Milan, modelo BPI 634.10.60-Dupla, com inversor de frequência e mangueira Marpren da Watson-Marlow (Figuras 4.14 e 4.15).



Figura 4.14 –Reservatório dotado de misturador lento



Figura 4.15 –Bomba Dosadora de lodo

4.2 FASES DO ESTUDO

A operação dos reatores ocorreu em 6 fases distintas, com diferentes aplicações de lodo séptico em cada uma das fases. A primeira foi caracterizada pela (1) Pré-Operação dos reatores UASB trabalhando de forma intermitente, iniciada em fevereiro de 2008, durando aproximadamente quatro semanas. Essa fase teve o objetivo de instalar e calibrar os equipamentos que foram utilizados na pesquisa.

O período entre março e a segunda quinzena de maio de 2008 (10 semanas) compreendeu a (2) “Partida”, onde cada reator começou a receber de forma contínua o esgoto bruto sem a adição de lodo séptico. Não foi utilizado nenhum inóculo anaeróbio, utilizando-se do lodo pré-existente no reator, armazenado de pesquisas anteriores. A vazão de esgoto bruto aplicado em cada um dos reatores era da ordem de 6000 L d^{-1} (250 L h^{-1}). Essa vazão permaneceu igual, com leves oscilações, durante todo o experimento. Os

critérios de aplicação de esgoto e de lodo séptico estão descritos no capítulo 4.3 a seguir.

A partir de março de 2008 iniciou-se a (3) primeira fase de operação dos reatores UASB, que perdurou por 19 semanas, até outubro do mesmo ano, sem a adição de lodo séptico. Essa fase, denominada Operação 1, ajudou a identificar semelhanças, diferenças e ajustes na operação dos reatores de forma a acompanhar as variações de maneira mais sensível quando do acréscimo de lodo séptico.

A primeira inserção de lodo (4) UASB + Lodo Dose 1, ocorreu em outubro de 2008 com uma vazão de 110 L d^{-1} de lodo séptico. A proposta inicial era de aplicar vazões diferentes nos dois reatores T1 e T2, mas devido a complicações com a bomba dosadora optou-se por manter igual dosagem em ambos os reatores, permanecendo o reator T3 como branco, sem adição de lodo. A fase UASB + Lodo Dose 1 perdurou por três meses e findou em dezembro de 2008 (11 semanas).

Após o término da UASB + Lodo Dose 1, houveram problemas operacionais com as bombas dosadoras que impossibilitaram a aplicação de novos valores de lodo. Até solução dos problemas, os três reatores UASB continuaram operando somente com esgoto bruto. Essa fase foi denominada de Operação 2 e durou 16 semanas.

Do início abril de 2009 ao fim de julho de 2009, ou seja, por 12 semanas, ocorreram as fases (5) UASB + Lodo Dose 2 (T1) e (6) UASB + Lodo Dose 3 (T2), permanecendo o reator T3, sem adição de lodo trabalhando como branco. Ao final dessa fase foram finalizados os experimentos. Na fase UASB + Lodo Dose 2 foi aplicado uma dose de 250 L d^{-1} e na fase UASB + Lodo Dose 3 foi aplicado uma dose de 450 L d^{-1} . A Tabela 4.1 apresenta um cronograma resumindo as fases das operações dos reatores UASB, indicando também o período em meses.

TABELA 4.1 – CRONOGRAMA DA OPERAÇÃO DOS REATORES PILOTO – ETE BELÉM

Ano		2008												2009		
Fase	Mês	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Pré-Operação																
Partida																
Operação 1																
UASB+Lodo Dose 1																
Operação 2																
UASB+Lodo Dose 2																
UASB+Lodo Dose 3																

Obs: Em todos os meses foi utilizada a vazão de 6000 L d^{-1} de esgoto bruto gradeado
Os valores inseridos dentro das caixas referem-se à vazão de Lodo Séptico aplicado

4.3 DOSAGEM DE ESGOTO BRUTO E LODO SÉPTICO

Cada um dos reatores UASB utilizados para o projeto recebeu vazão de 6000 L d^{-1} (250 L h^{-1}) de esgoto bruto, gradeado, proveniente do tratamento preliminar da ETE Belém, já descrito anteriormente. A vazão adotada segue a utilizada por Aisse (2002) e corresponde a população equivalente aproximada de 31 pessoas, presumindo-se uma concentração de $280 \text{ mg DBO L}^{-1}$. O tempo de detenção hidráulica do reator é de aproximadamente 8 horas.

A proposição do primeiro valor de 110 L d^{-1} de lodo séptico ao tratamento combinado (UASB + Lodo Dose 1), tem como base os estudos realizados por Aisse (2002), onde os reatores UASB estudados na estação piloto receberam, de forma eficiente, o lodo aeróbio de descarte do pós-tratamento aplicado.

Devido à variabilidade do lodo séptico, foi suposta equivalência da carga do lodo séptico e do lodo aeróbio que poderia ser aplicada aos reatores. Sendo assim, alcançou-se o primeiro valor da dosagem aplicada ao reator na ordem de 110 L d^{-1} , para o teor de Sólidos Totais de 4.000 mg L^{-1} . Os cálculos indicando os procedimentos das estimativas em questão, encontram-se no Anexo A, Cálculo 1.

Como contraprova, outra hipótese foi estudada: a equiparidade das cargas de DBO de esgoto e de lodo séptico. Utilizando-se da mesma vazão verificou-se que a carga média diária de DBO, proveniente do esgoto bruto para uma vazão de 250 L h^{-1} , é de $1,68 \text{ kg DBO d}^{-1}$. Ao se calcular a carga de DBO do lodo séptico aplicado a uma vazão de 110 L d^{-1} foi encontrado o valor de $1,65 \text{ kg DBO d}^{-1}$, ou seja de igual grandeza do esgoto, portanto, dobrando o valor da carga em relação a DBO (ANEXO A, Cálculo 2).

Procurando identificar a capacidade de trabalho da bomba dosadora, a carga de valor de $0,44 \text{ kg ST d}^{-1}$ ($\text{COV} = 0,22 \text{ kg ST d}^{-1}$) indicou ser o valor limite para o trabalho das bombas dosadoras, valores acima deste impediam o bom funcionamento do sistema (ver item 5.1.2 Aplicação de Lodo Séptico). Portanto para uma vazão de lodo de 110 L d^{-1} adotada para a capacidade de trabalho da bomba, resultaria que o lodo séptico tivesse no máximo um teor de $4.000 \text{ mg ST L}^{-1}$.

Não havendo a possibilidade da aplicação do lodo *in natura* para teores maiores do que o estipulado, o lodo quando ultrapassava o valor limite, era diluído em água de serviço (efluente) da ETE Belém, até alcançar o valor desejado. Para tanto, o procedimento passou a analisar os Sólidos Totais do lodo séptico acondicionado ao adensador, quando a sua concentração fosse maior do que $4.000 \text{ mg ST L}^{-1}$, o lodo era diluído até esse valor.

Devido a problema com as bombas peristálticas, a aplicação de segunda dosagem foi abandonada, tendo sido aplicada vazão única de 110 L d^{-1} de lodo séptico para ambos os reatores T1 e T2, permanecendo o reator T3 como branco durante a fase UASB + Lodo Dose 1.

Acompanhando as análises de caracterização do lodo séptico, realizadas pelo grupo de pesquisas do PROSAB ao qual esta pesquisa foi vinculada, foi encontrada concentração mediana de Sólidos Totais de $8.300 \text{ mg ST L}^{-1}$, porém uma média de $12.500 \text{ mg ST L}^{-1}$. Para as fases UASB + Lodo Dose 2 e 3, buscou-se atender esses valores de forma aproximada. As variáveis do esgoto e do teor de Sólidos Totais do lodo permaneceram iguais apesar de alterada a vazão de lodo aos reatores UASB. Foi adotada a vazão de 250 L d^{-1} para a fase UASB + Lodo Dose 2 e de 450 L d^{-1} para a fase UASB + Lodo Dose 3.

4.4 COLETA E AMOSTRAGEM DE LODO SÉPTICO

A ETE Belém recebe espontaneamente caminhões limpa-fossa que dispõem o lodo séptico em canal específico, a montante da elevatória da estação. Os caminhões descartam o lodo por gravidade, sem o uso de mangotes e auxiliado por plano inclinado (rampa) (Figuras 4.16 e 4.17). Os caminhões utilizados na pesquisa foram selecionados na entrada da estação somente após a liberação pelos funcionários da SANEPAR.



Figura 4.16 –Descarte de Caminhão Limpa-Fossa na ETE Belém



Figura 4.17 –Descarte de Caminhão Limpa-Fossa na ETE Belém

Este monitoramento consiste na determinação do pH do lodo, que serve à companhia como parâmetro de aceitação do lodo para a disposição na ETE. Valores de pH abaixo de 5,0 ou acima de 10,0 não são aceitos pela empresa, pois podem interferir negativamente na qualidade do tratamento da estação, pela provável origem não doméstica.

Outro parâmetro de seleção é o tempo transcorrido entre esgotamentos do tanque séptico. Muitos dos caminhões que descarregam na ETE Belém são contratados por empresas que fazem esgotamentos frequentes (até mesmo diários) de fossas ou tanques sépticos, não permitindo a sedimentação e a digestão da matéria orgânica (consequentemente não formando sólidos com características sépticas), descaracterizando o objeto da pesquisa. Lodos com tempo de esgotamento inferior a três meses não foram utilizados.

Auxiliado pelos operadores do caminhão, o lodo séptico foi bombeado ao canal elevado pela mangueira de coleta do próprio caminhão, utilizando o registro esfera na saída, a fim de regularizar a vazão procurando mantê-la constante (Figura 4.18 e 4.19). O tempo médio de descarga é de aproximadamente 20 minutos, variando de acordo com o volume do caminhão.



Figura 4.18 – Descarte de lodo séptico no amostrador



Figura 4.19 – Descarte de lodo séptico no amostrador

Para a coleta de amostras utilizou-se um frasco de 200 mL para cada alíquota amostrada. Estabeleceu-se a retirada de uma alíquota no início do descarte no amostrador, outra no final e de uma alíquota a cada tantos minutos de descarte, que variava dependendo do volume do caminhão, o suficiente para compor uma amostra constituída de um total de até 10 alíquotas proporcionais à vazão (Figuras 4.20).



Figura 4.20 – Frascos de coleta e análises de sólidos sedimentáveis em Cone Imhoff

Os tempos das tomadas das alíquotas intermediárias eram estimados de acordo com o volume do caminhão, sendo imposta vazão de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, durante o descarte, buscando manter o intervalo de tempo entre as coletas constante. Esse procedimento ajudou a diminuir a possibilidade de descaracterização do lodo ao realizar as análises da coleta composta.

4.5 DESCARTE DO LODO ANAERÓBIO DE EXCESSO

O lodo anaeróbio de excesso foi descartado por meio de 6 registros instalados ao longo da altura dos reatores, iniciando na cota 0 m (fundo) intercalados a cada 0,5 m até a altura de 2,5 m. A retirada de lodo iniciou-se na terceira semana de maio, 10 semanas após o início dos experimentos.

A retirada do excesso de lodo dos reatores (purga) ocorre quando há existência de uma “fuga” de lodo do sedimentador-digestor do UASB. Como critério, era realizada uma purga quando ocorriam valores superiores ou iguais a $0,1 \text{ mL L}^{-1}$ de Sólidos Sedimentáveis analisados no efluente dos reatores piloto. Acompanhando os dados encontrados em Aisse (2002) para os reatores UASB da estação piloto, a purga poderia ser realizada a cada 20 a 30 dias de forma preventiva ou quando os valores de Sólidos Sedimentáveis ultrapassassem o estipulado.

4.6 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PREVENTIVA DA ESTAÇÃO PILOTO

O crivo e a bomba do conjunto moto-bomba de alimentação de esgoto bruto eram limpos duas vezes por semana (Figuras 4.21 e 4.22) assim como a caixa de distribuição de esgoto bruto. Os orifícios das tubulações de PVC de esgoto bruto eram limpos de 1 a 2 vezes ao dia. As mangueiras das bombas peristálticas eram limpas uma vez por semana e as calhas dos reatores UASB eram limpas uma vez ao mês para remoção de espuma. O amostrador, o adensador e o tanque de armazenamento eram limpos após cada descarte de lodo séptico no sistema.



Figura 4.21 –Bomba de Alimentação de Esgoto Bruto. Manutenção de Limpeza.



Figura 4.22 –Bomba de Alimentação de Esgoto Bruto. Manutenção de Limpeza.

Nos dias úteis, a estação era monitorada pelos bolsistas. O procedimento era realizado seguindo um *check-list*, que era preenchido em uma ficha utilizada como relatório diário. No relatório foram anotadas as vazões da ETE Belém, a temperatura ambiente, as condições do tempo, as paralisações, as obstruções na tubulação e equipamentos da estação piloto, os volumes dos tanques (adensador, armazenamento e distribuição), assim como as ações de operação realizadas no dia. No Anexo B deste trabalho encontram-se a planilha de *check-list* e a ficha do relatório diário.

Quando existiam operações ou manutenções inter-relacionadas com as da ETE Belém, tanto os operadores e laboratoristas da Unidade de Serviços de Esgotos (USEG), quanto técnicos eletro-mecânicos da Unidade de Serviço de Manutenção (USEM) alocados na ETE Belém, colaboraram para o funcionamento do processo.

4.7 DETERMINAÇÕES E ENSAIOS LABORATORIAIS

As determinações e os ensaios laboratoriais foram conduzidos no Laboratório de Análises da ETE Belém, da SANEPAR, e no Laboratório de Engenharia Ambiental Prof. Francisco Borsari Netto (LBEAM), pertencente ao Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) e ao Programa de Pós-

graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Para cada fase os parâmetros foram analisados em função das necessidades de monitoramento e operação dos reatores, do lodo séptico e anaeróbico e do esgoto bruto. As Tabelas 4.2 e 4.3. indicam os parâmetros, os métodos utilizados e a frequência das análises para cada fase de estudo, incluindo pré-operação e partida do reator. para a realização das análises.

TABELA 4.2 – PARÂMETROS E MÉTODOS DAS ANÁLISES

Parâmetros	Método	Referência
DBO	Manométrico	Standard Methods 3210
DQO	Colorimétrico	Kit Hach 8000
Óleos e Graxas	Gravimétrico	Standard Methods 5520-F
Fósforo Total	Colorimétrico	Kit Hach 27429
pH	Potenciométrico	Standard Methods 4500-H
Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis	Gravimétrico	Standard Methods 2540-D
Sólidos Totais, Fixos e Voláteis	Gravimétrico	Standard Methods 2540-B
Sólidos Sedimentáveis	Cone Imhoff	Standard Methods 2540-B
Alcalinidade	Titulométrico e Potenciométrico	Standard Methods 2320
Condutividade	Célula de Condutividade	Standard Methods 2510-B

FONTE: HACH (2008a), HACH (2008b) e APHA / AWWA / WEF (2000)

Segundo Tchobanoglous *et al.* (2003), utiliza-se o teor em porcentagem de Sólidos Totais como critério de definição entre amostras sólidas e líquidas de lodo. Segundo os autores (*ibid.*), consideram-se amostras sólidas valores entre 2 a 8% de Sólidos Totais. Neste estudo foram consideradas amostras sólidas de lodo com teor de Sólidos Totais iguais ou superiores a 5% (média).

Nas fases de Pré-Operação e Partida foram acompanhados somente os valores de alcalinidade com o intuito de verificar as boas condições dos reatores. Nas fases de Operação (1 e 2), foram analisadas a entrada e saída dos três reatores UASB e do lodo anaeróbico descartado. Nas fases UASB + Lodo Dose 1, 2 e 3, além do monitoramento dos UASB, foram investigados o lodo séptico bruto e o armazenado.

A coleta do esgoto bruto foi realizada no canal de entrada ao desarenador da ETE Belém. Todas as amostras de esgoto bruto foram coletadas semanalmente, de forma composta por meio de amostrador automático da marca ISCO, modelo 3700C *Sequential Sampler*, cujas alíquotas

de 1 L eram tomadas de hora em hora, sendo destas, retirados 200 mL de cada frasco para compor a amostra composta.

TABELA 4.3 –PARÂMETROS E FREQUÊNCIA DAS ANÁLISES EM FUNÇÃO DAS FASES DO PROJETO

Fases	Ponto	Parâmetros	Frequência
Pré-Operação e Partida	Efluente dos Reatores UASB	Alcalinidade a Carbonato e Total	Semanal
	Esgoto Bruto Afluente	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Semanal
Monitoramento 1 e 2	Efluente dos Reatores UASB	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Semanal
	Lodo Anaeróbio Descartado	Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Esporádica
	Esgoto Bruto Afluente	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Semanal
	Efluente dos Reatores UASB	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Semanal
Dosagem 1,2 e 3	Lodo Anaeróbio Descartado	Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Esporádica
	Lodo Séptico Bruto	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Esporádica
	Lodo Séptico Armazenado	pH, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.	Esporádica

O efluente de cada reator UASB era coletado semanalmente, de forma pontual, logo após a calha defletora de espuma dos reatores. Na fase de UASB + Lodo Dose 2 e 3 foi utilizada bomba peristáltica dosadora, marca MILAN, modelo BP 600/4, para compor coleta composta de aproximadamente 5 L em 24 horas, por meio de tomada de alíquotas contínuas cuja vazão aproximava-se a 200 mL h⁻¹.

De forma a evitar variações no pH, a alcalinidade do meio deve permanecer em valores próximos de 1000 mgCaCO₃.L⁻¹. Bicarbonatos, soda ou cal podem ser adicionados, permitindo o controle do pH, sendo o ideal valores entre 2500 a 5000 mgCaCO₃.L⁻¹ (McCARTY, 1964; LEE *et al.*, 1989; e

GERARDI, 2003). Já Georgiou *et al.*(2001), a indicaram valores entre 1000 a 3000 mgCaCO₃.L⁻¹.

Jenkins *et al.* (1983) propuseram determinar a razão entre a Alcalinidade Total (pH 5) com a Alcalinidade a carbonatos pH (4,4), denominado relação alfa (α), medindo a capacidade de tamponamento do meio principalmente à ação de Ácidos Orgânicos Voláteis. Valores de α acima de 0,5 indicariam a estabilidade do sistema, tendo como valor ótimo de α , acima de 0,8 (LOPEZ *et al.*, 2000).

Os dados agrupados por reator, ao final da investigação, permitiram análise estatística da variância dos dados entre si. Pelo número de análises, uma avaliação paramétrica não seria a melhor indicação. Para tanto, foram utilizados testes não-paramétricos: o teste de Kruskal-Wallis, equivalente ao teste F ANOVA. Esse teste auxilia na verificação se houve variabilidade entre as amostras.

O lodo anaeróbio de excesso, gerado nos reatores UASB, foi analisado a cada descarte de forma esporádica, sendo analisado em perfil conforme os critérios descritos no item 4.6.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS DE APLICAÇÃO DE LODO SÉPTICO

5.1.1 Características do Descarte de Lodo Séptico

Foi notado, nos descartes iniciais dos caminhões limpa-fossa, que o lodo séptico apresentou variações quanto à concentração de sólidos, ao longo do descarte. De maneira geral, uma parte com maior capacidade de sedimentação fica armazenada no fundo do caminhão, no momento do descarte por gravidade, essa parte mais concentrada escoava por primeiro, sendo logo seguida por uma fração mais líquida. Posteriormente, o lodo passa a ser mais concentrado, até adquirir um aspecto pastoso. Nos últimos instantes do descarte, o lodo séptico torna-se mais líquido. A vazão também varia consideravelmente durante o descarte, sendo maior no início, devido à pressão hidráulica do caminhão cheio, vindo a minguar no decorrer do escoamento. A Figura 5.1 apresenta a variação da concentração de Sólidos Totais do lodo séptico descartado em relação ao tempo de descarte.

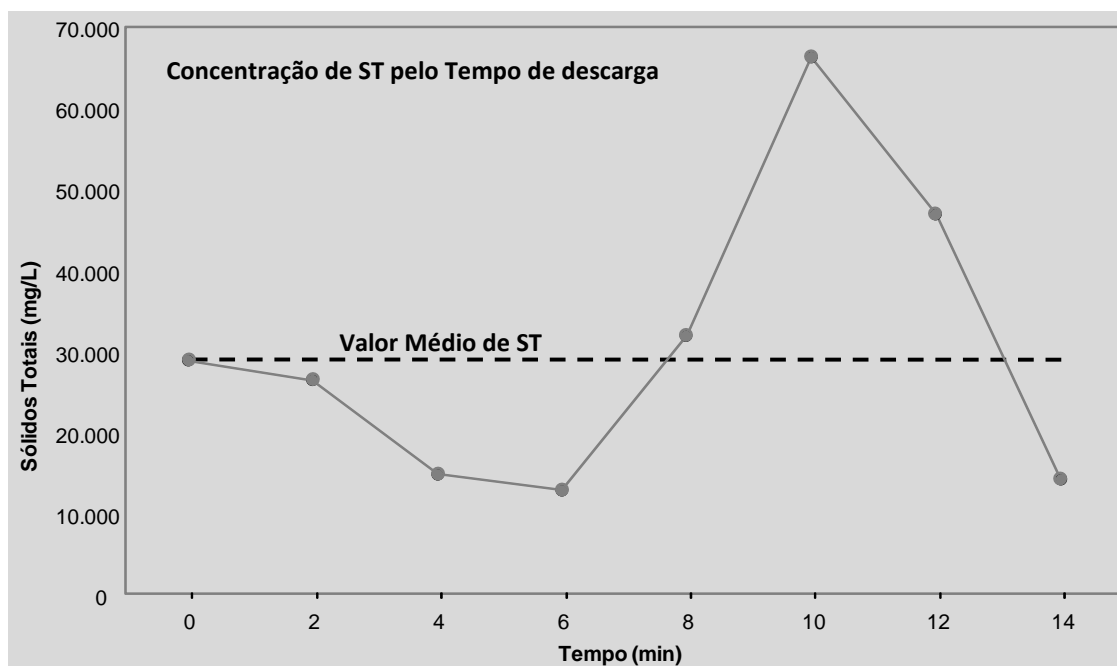


Figura 5.1 –Concentração de Sólidos Totais em mg.L^{-1} de lodo séptico de caminhão limpa-fossa em relação ao tempo de descarte (14/05/2008)

Como visto na revisão, existe uma grande variabilidade nas características físico-químicas no lodo séptico, o que dificulta em encontrar parâmetros para a aplicação do lodo séptico em tratamento combinado.

Pela caracterização realizada para esta pesquisa, foi investigada as correlações lineares entre os diversos parâmetros analisados na caracterização do lodo séptico. O parâmetro que obteve a melhor correlação foi o da DQO e de Sólidos Totais, que apresentaram um Coeficiente de Correlação (R^2) igual a 0,717, como pode ser observado na Figura 5.2. Essa correlação é uma das mais fortes encontradas entre os demais parâmetros. Em relação a DBO, não foi encontrada a mesma correlação encontrada para DQO ($R^2=0,211$). Isso posto indica que a parcela biodegradável do lodo séptico não possui relação com a quantidade de sólidos presentes no lodo. A determinação da correlação de todos os parâmetros podem ser visualizados no ANEXO C.

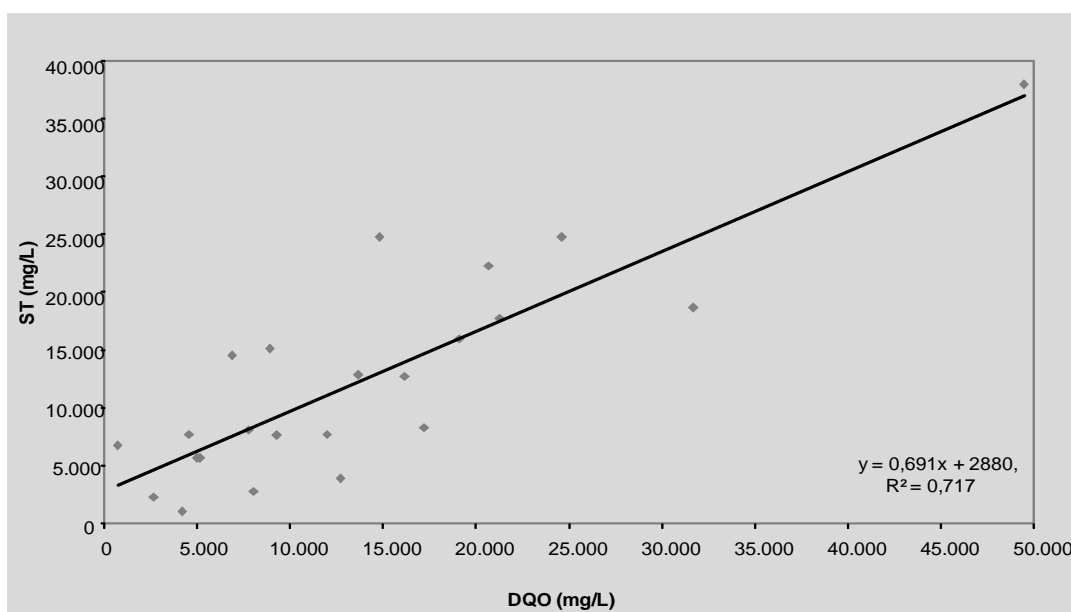


Figura 5.2 –Gráfico de dispersão e correlação R^2 entre os parâmetros de Sólidos Totais e de DQO da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema piloto

Para a alimentação dos tanques foram realizadas 23 operações de descarte de lodo no sistema piloto, durante o período da pesquisa. Apenas dois deles não foram aplicados, pois ambos não apresentaram características de lodo séptico: o primeiro possuía um teor de sólidos inferior a 2.000 mg L^{-1} e o

segundo por apresentar cor marrom-clara, característica de lodo aeróbio. Os dados referentes a esta caracterização encontram-se no ANEXO D.

5.1.2 Aplicação de Lodo Séptico

Na fase de testes e Pré-Operação, o lodo séptico apresentou problemas ao ser dosado pela bomba peristáltica, devido às concentrações de Sólidos Totais. A média da concentração de Sólidos Totais dos descartes de lodo séptico foi de $8.000 \text{ mg ST L}^{-1}$ (carga de $0,88 \text{ kg ST d}^{-1}$ para a vazão de 110 L d^{-1}). A mangueira da bomba ao ser esmagada segregava a parte líquida da sólida, bombeando a líquida e obstruindo a mangueira com a parte sólida retida. Operacionalmente o teor de sólidos passou a ser o principal limitante do sistema instalado. De forma a solucionar o problema, foram testadas quatro concentrações de lodo séptico progressivamente: (1) $1.000 \text{ mg ST L}^{-1}$; (2) $4.000 \text{ mg ST L}^{-1}$; (3) $4.000 \text{ mg ST L}^{-1}$; e (4) $5.000 \text{ mg ST L}^{-1}$ (cargas de Sólidos Totais de (1) $0,11 \text{ kg ST d}^{-1}$; (2) $0,33 \text{ kg ST d}^{-1}$; (3) $0,44 \text{ kg ST d}^{-1}$; e (4) $0,55 \text{ kg ST d}^{-1}$ para uma vazão de 110 L). A partir de uma concentração de Sólidos Totais de $5.000 \text{ mg ST L}^{-1}$, o lodo começou a obstruir as mangueiras da bomba peristáltica. Optou-se em utilizar uma concentração de $4.000 \text{ mg ST L}^{-1}$.

Quando necessário adequar o lodo ao teor de 4.000 mg L^{-1} de Sólidos Totais exigido pela metodologia, foi diluído o lodo séptico antes de ser aplicado ao sistema. Após analisado a concentração de Sólidos Totais no lodo sedimentado do adensador, o lodo séptico era diluído com água de serviço da estação até aproximar-se de 4.000 mg L^{-1} de Sólidos Totais, o que possibilitou estimar a carga de Sólidos Totais e de DQO no sistema.

Para o delineamento dos parâmetros de aplicação de esgoto bruto gradeado, utilizou-se valores médios de monitoramento realizados pela operação da ETE Belém nos 6 meses antecedentes ao início das operações. Os valores médios de DQO e de Sólidos Totais do afluente foram respectivamente 575 mg L^{-1} e de 450 mg L^{-1} aproximadamente.

A Tabela 5.1 apresenta um resumo dos parâmetros preliminares de operação dos reatores nas fases UASB + Lodo Dose 1, 2 e 3, com dados estimados de vazão de esgoto bruto e de lodo séptico e as estimativas

preliminares de DQO e de Sólidos Totais. A tabela também apresenta as relações de porcentagem entre as dosagens de lodo em relação ao esgoto bruto.

TABELA 5.1 –DELINIEAMENTO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DOS REATORES UASB TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO E LODO SÉPTICO

Esgoto Bruto					
Dosagem	Q (L.d⁻¹)	ST (mg.L⁻¹)	DQO (mg.L⁻¹)	CST (kg.d⁻¹)	CDQO (kg.d⁻¹)
1	6000	450	575	2,7	3,45
2	6000	450	575	2,7	3,45
3	6000	450	575	2,7	3,45
Lodo Séptico					
Dosagem	Q (L.d⁻¹)	ST (mg.L⁻¹)	DQO (mg.L⁻¹)	CST (kg.d⁻¹)	CDQO (kg.d⁻¹)
1	110	4.000	2.280	0,44	0,25
2	250	4.000	2.280	1,00	0,57
3	450	4.000	2.280	1,80	1,00
Carga Volumétrica			Relação Lodo / Esgoto		
Dosagem	CVST (kg.m⁻³ d⁻¹)	CVDQO (kg. m⁻³ d⁻¹)	Q (%)	CST (%)	CDQO (%)
1	0,22	0,13	1,8	16,3	7,2
2	0,50	0,29	4,2	37,0	16,5
3	0,90	0,50	7,5	66,7	29,0

Onde: CST – Carga de ST, CVST – Carga Volumétrica de ST, CDQO – Carga de DQO e CVDQO – Carga Volumétrica de DQO

5.2 TRATAMENTO PRELIMINAR DO LODO SÉPTICO

O amostrador cumpriu parcialmente o objetivo de reter os sólidos grosseiros provenientes das descargas dos caminhões. Ocorreram colmatações da peneira (Figura 5.3) por sólidos logo na primeira terça parte do descarregamento na maioria dos casos. Esse fato obrigou o lodo séptico a verter sobre a peneira, como pode ser observado na Figura 5.4. Esse “desvio” não prejudicou a retirada da maioria do material grosseiro que porventura pudesse obstruir as tubulações e as bombas utilizadas na estação piloto. No último evento de descarga de lodo séptico, o caminhão selecionado não conseguiu lançar o lodo para o amostrador por falta de pressão no tanque. Optou-se por descarregar o lodo diretamente no adensador. Essa opção veio a se mostrar equivocada, pois a entrada da bomba centrífuga ABS era obstruída por estopas e cabelos, a aproximadamente cada 500 L de lodo bombeado ao tanque de armazenamento.



Figura 5.3 –Detalhe da peneira de 5 mm utilizada para o tratamento preliminar



Figura 5.4 –Extravasamento da peneira colmatada na descarga de lodo séptico

Usualmente, os resíduos retidos pela peneira de 5 mm eram constituídos por estopas, sacolas, fios de cabelo e embalagens plásticas vazias. Também foram encontradas pedras-britas em quantidade razoável proveniente de limpeza de fossas, filtros biológicos ou sumidouros, assim como torrões de gordura, esses em grande quantidade. Anfíbios e roedores mortos também eram encontrados com certa frequência. Em descarregamento específico oriundo de estabelecimento comercial, vários pedaços de vidro, identificadas como sendo de garrafas de cerveja e de refrigerante, foram retidos pela peneira. O material grosseiro era retirado com o uso de baldes graduados e pás, um dia após o descarregamento e o volume retirado variava entre 10 e 25 L por descarte.

A calha Parshall cumpriu o seu papel na medição da vazão com duas ressalvas: a primeira que o lodo séptico, após o pico de vazão, sujava a régua de leitura, fazendo com que fosse necessária constante limpeza durante a descarga; e a segunda consistia na variação da vazão do lodo séptico ao ser descarregado. Como a leitura era visual, a variação do lodo prejudicava a precisão da leitura da régua.

O adensador, que em primeiro momento não fazia parte do tratamento preliminar, acabou por agir de forma a selecionar a entrada de lodo que não correspondia ao propósito da pesquisa. Um caminhão, cuja carga foi anunciada como sendo de lodo séptico, no processo de descarregamento foi observada

coloração marrom-claro, não condizente com a cor escura típica do lodo anaeróbio. O motorista ao ser novamente indagado sobre a origem do material acabou revelando que a origem não era de tanque séptico e sim de estação de tratamento de uma metalúrgica, que utilizava sistema de lodos ativados, cujo lodo perdeu-se em função de falta de energia. Como o lodo já havia sido descarregado, o adensador permitiu descartar todo o lodo aeróbio à entrada da ETE Belém, não afetando o experimento com lodo aeróbio.

Não houve problemas quanto ao pré-tratamento e nem na equalização do lodo cujos tanques de armazenamento foram utilizados com este intuito. Observou-se porém, que nos períodos das fases de Operação 1 e 2, no qual não foi utilizado lodo séptico, um residual de lodo permaneceu dentro dos tanques com seus respectivos misturadores ligados. Entre duas a três semanas começou a ser observada uma alteração na coloração do lodo. A alteração partiu de cor escura, própria do lodo séptico, para marrom-clara, indicando alteração visual na característica do lodo.

5.3 MONITORAMENTO DOS REATORES UASB

O monitoramento do tratamento combinado de esgotos doméstico bruto gradeado e de lodo séptico em reatores UASB, seguiu de acordo com o apresentado em material e métodos. Com os resultados do monitoramento, foram realizadas análises de estatística descritiva, obtendo valores de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão e quartis). Foram gerados gráficos comparativos entre os sistemas em cada uma das fases de operação dos reatores e, para todos os parâmetros analisados apresentando valores da mediana e a dispersão dos dados em quartis (25% e 75%) com o máximo e mínimo de 90% de confiança, expurgando valores excepcionais. Os resultados de todas as análises e dos processos estatísticos aplicados encontram-se no ANEXO E deste trabalho.

5.3.1 Fase de partida e pré-operação dos reatores

Não foram realizadas análises de monitoramento dos reatores na fase de pré-operação. Essa fase caracterizou-se pela adequação hidráulica, instalação de equipamentos e ajuste de vazões. Após a fase de pré-operação, foram monitoradas essencialmente as Relações α de Alcalinidade dos reatores UASB de forma a verificar sua partida.

Os dados semanais da Relação α apresentaram valores acima de 0,71 (Reator T1, 0,75, Reator T2, 0,74 e Reator T3, 0,72, como valor médio) condizentes com o que a literatura indica como uma boa operação de partida. Alguns dados alcançaram valores acima de 0,81 de Relação α , indicando condições de partida classificadas como “ótima” por Noyola *et al.* (2007). A Tabela 5.2 apresenta os dados da Relação α alcançados nos meses finais de partida dos reatores UASB assim como os valores apresentados por Noyola (*ibid.*) para as condições dos reatores.

5.3.2 Fase de Operação 1

A DBO média do efluente dos reatores T1, T2 e T3 foi de 99, 87 e 77 mg L⁻¹ e não apresentaram grandes variabilidades (Figura 5.5). A DQO efluente apresentou maior desvio no reator T2 e ambos os reatores T2 e T3 apresentaram maior variabilidade (Figura 5.6). As médias da DQO efluente foram 202, 275 e 223 mg L⁻¹ para os reatores T1, T2 e T3. Para uma média de esgoto bruto afluente de 290 mg L⁻¹ de DBO e de 536 mg L⁻¹ da DQO, valores normais segundo a literatura, alcançou-se uma remoção da DQO de 62%, 63% e 62% para os reatores T1, T2 e T3, mais baixas do que o esperado. Segundo Chernicharo (1997) uma eficiência de remoção de DQO na ordem de 75% seria esperada para reatores anaeróbios do tipo UASB. Uma eficiência menor ainda, se comparada com a analisada por Aisse (2002) que citou valores de 86% na remoção da DQO tratando esgotos domésticos, utilizando a instalação piloto ora utilizada no tratamento combinado.

TABELA 5.2 – DADOS DE ALCALINIDADE A CARBONATOS, ALCALINIDADE TOTAL E RELAÇÃO α DOS REATORES UASB T1, T2 E T3

T1		16/mai	28/mai	3/jun	10/jun	17/jun	24/jun	1/jul	8/jun	15/jul
	Alcalinidade a Carbonatos pH 5,75	5,22	12,69	8,13	11,38	4,43	6,35	6,43	7,43	9,75
	Alcalinidade Total pH 4,5	6,72	15,02	11,82	14,07	6,12	9,02	9,39	9,93	12,82
	Relação α de Alcalinidade	0,78	0,84	0,69	0,81	0,72	0,70	0,68	0,75	0,76
T2		16/mai	28/mai	3/jun	10/jun	17/jun	24/jun	1/jul	8/jun	15/jul
	Alcalinidade a Carbonatos pH 5,75	5,55	13,29	7,13	7,49	4,47	5,59	6,09	6,5	9,51
	Alcalinidade Total pH 4,5	7,59	17	9,68	8,89	5,94	8,33	8,69	9,15	12,61
	Relação α de Alcalinidade	0,73	0,78	0,74	0,84	0,75	0,67	0,70	0,71	0,75
T3		16/mai	28/mai	3/jun	10/jun	17/jun	24/jun	1/jul	8/jun	15/jul
	Alcalinidade a Carbonatos pH 5,75	4,87	13,82	7,84	7,57	4,6	5,53	5,76	5,98	9,76
	Alcalinidade Total pH 4,5	7,46	16,81	10,81	9,51	6,84	7,79	8,31	8,35	13,19
	Relação α de Alcalinidade	0,65	0,82	0,73	0,80	0,67	0,71	0,69	0,72	0,74
0,81< Condição Ótima										
0,710,80 Condição Boa										
0,610,70 Condição Normal										
0,510,60 Condição Alerta										
0,410,50 Condição de Emergência										
>0,40 Condição de Perda do Reator										

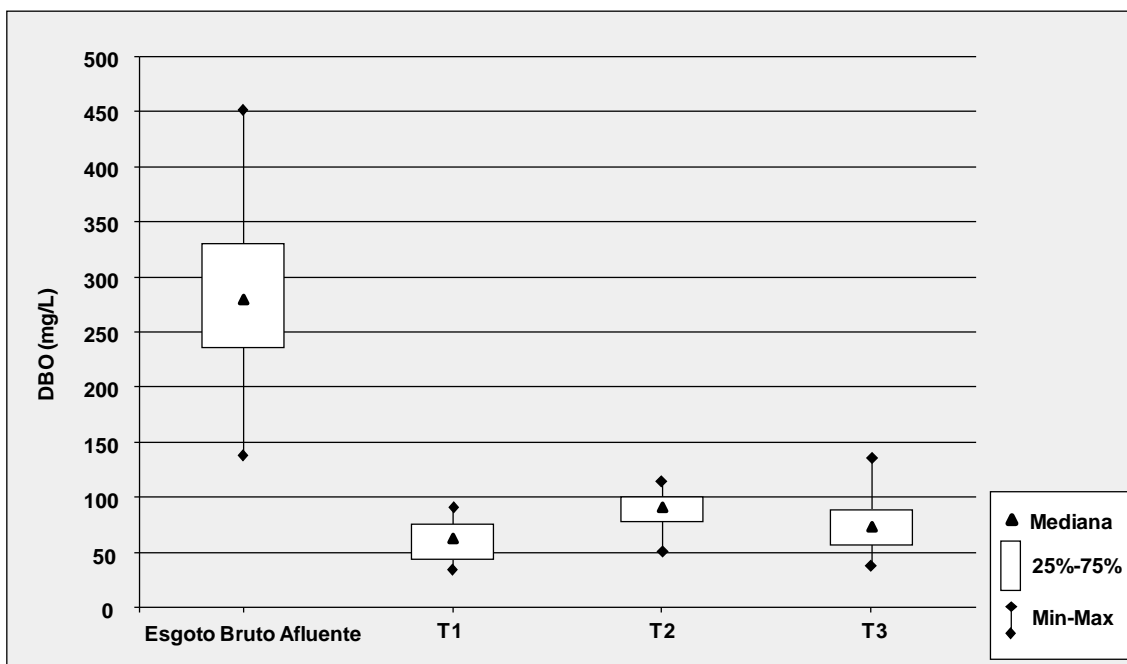


Figura 5.5 – Mediana, quartil e máximos e mínimos de DBO da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1

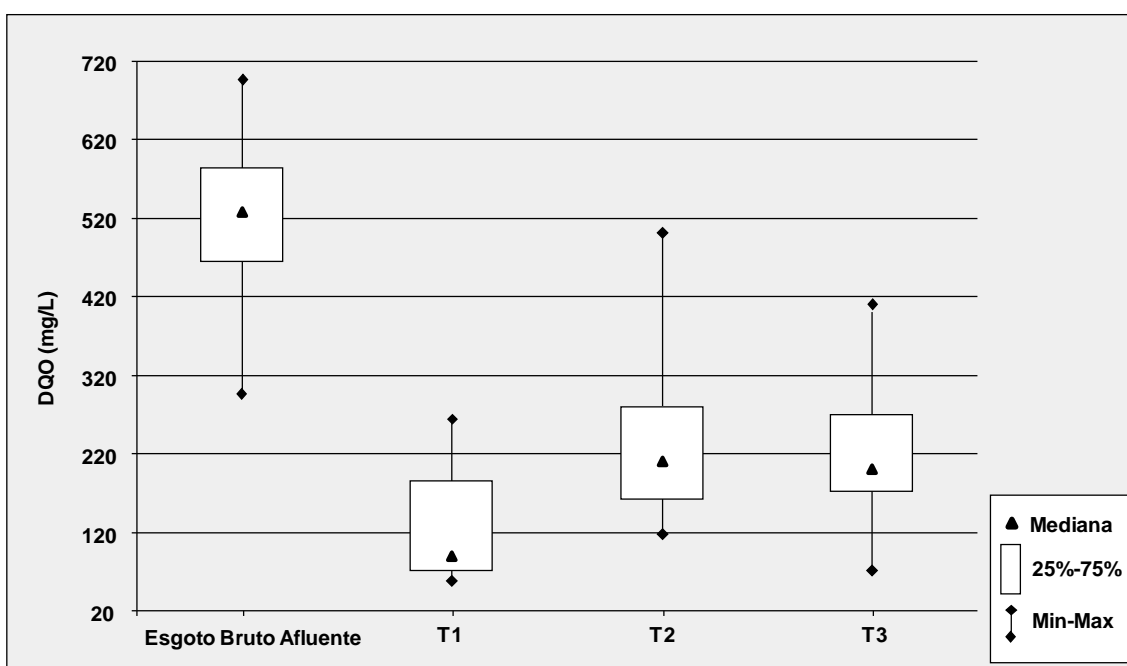


Figura 5.6 – Mediana, quartil e máximos e mínimos de DQO da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1

Na fase de Operação 1 observou-se alguns eventos de saída de lodo anaeróbio pelo efluente principalmente no início do monitoramento, resultante talvez da carga hidráulica aplicada ou da produção de biogás, cujo movimento ascensional do gás provoca perda de sólidos. Os valores médios de Sólidos Sedimentáveis foram de $12,4 \text{ mL L}^{-1}$ para o esgoto bruto e de $0,8 \text{ mL L}^{-1}$ para os reatores T1 e T2. O reator T3, que apresentou maior quantidade de sólidos foi de $2,7 \text{ mL L}^{-1}$ com um desvio padrão de $7,6 \text{ mg L}^{-1}$. A Figura 5.7 apresenta a variabilidade dos valores de Sólidos Sedimentáveis. Neste gráfico não pode ser identificado grandes variabilidades dos reatores T1 e T2, o oposto do que ocorreu com o reator T3, havendo eventos afastados da mediana permitindo a elevação da média.

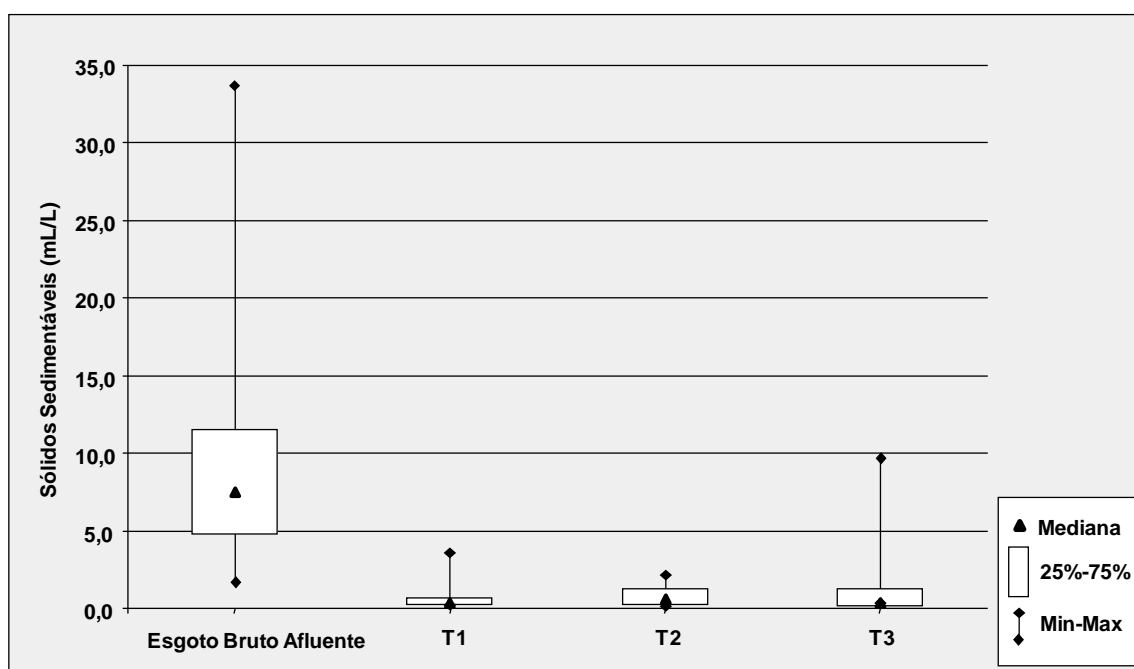


Figura 5.7 –Mediana, quartil e máximos e mínimos de Fosfato da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1.

O Fosfato apresentou leve remoção, na ordem de 15%, provavelmente pela sua transferência ao lodo anaeróbio. Porém houve um grande desvio padrão no lançamento de Fosfato no efluente do reator T3 ($14,8 \text{ mg L}^{-1}$), reator que mais apresentou perda de sólidos como pode ser observado na discussão de Sólidos Sedimentáveis, indicando uma possível relação. Os valores médios de Fosfato foram de $18,0 \text{ mg L}^{-1}$ para o esgoto bruto e para T1, T2 e T3 os

valores de 12,4; 11,7 e 15,0 mg L⁻¹ respectivamente. Sua variação está apresentada na Figura 5.8.

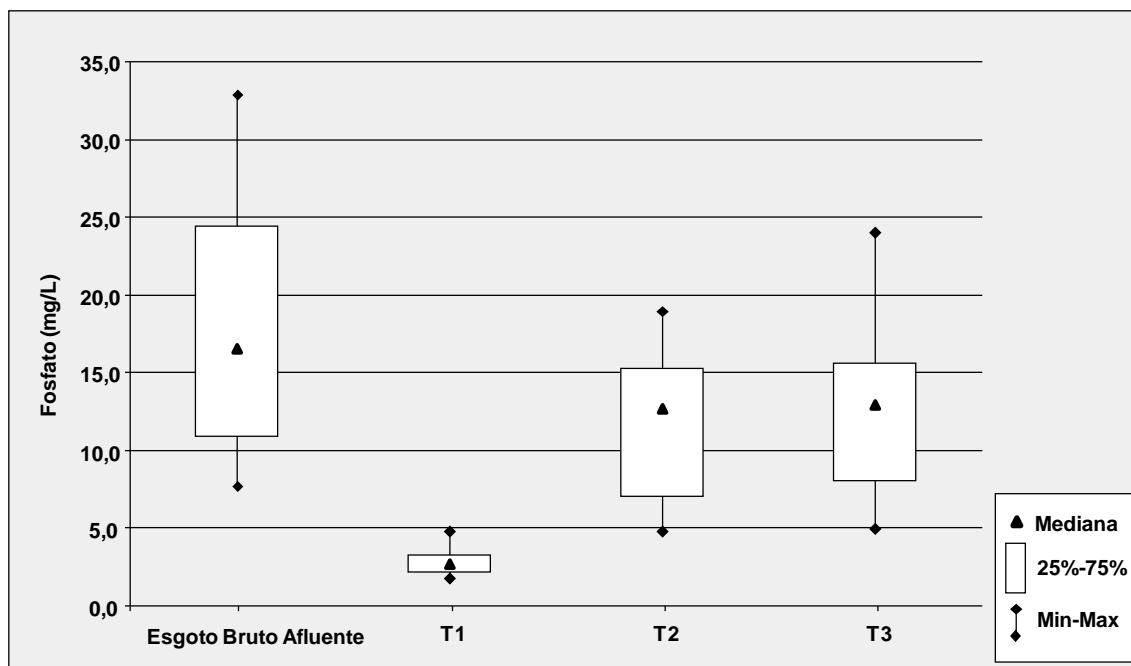


Figura 5.8 –Mediana, quartil e máximos e mínimos de Fosfato da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1.

A temperatura média da amostra do esgoto bruto afluente apresentou valores 1,5 °C abaixo dos valores encontradas no efluente dos reatores, que ficaram entre 23 e 24 °C. A leitura da temperatura das amostras era realizada pela manhã aproximadamente às 10 horas, o que pode indicar a influência do tempo de exposição do esgoto bruto às temperaturas mais baixas durante a noite no amostrador automático.

Quanto ao pH, a faixa para os três reatores e o esgoto bruto permaneceu próxima ao neutro, com valores de $7,1 \pm 1$, dentro da faixa em que as bactérias metanogênicas possuem um bom desempenho (pH entre 6 e pH 8). A pequena variação no pH indicou a boa capacidade de tamponamento do sistema. Para sistemas anaeróbios com pH entre 6,0 e 7,5, a capacidade de tamponamento é quase que completamente dependente dos bicarbonatos, provavelmente presente.

Nas Figuras 5.9 e 5.10 são apresentados os quartis e as medianas das temperaturas da amostra e do pH do esgoto bruto e do efluente dos reatores UASB.

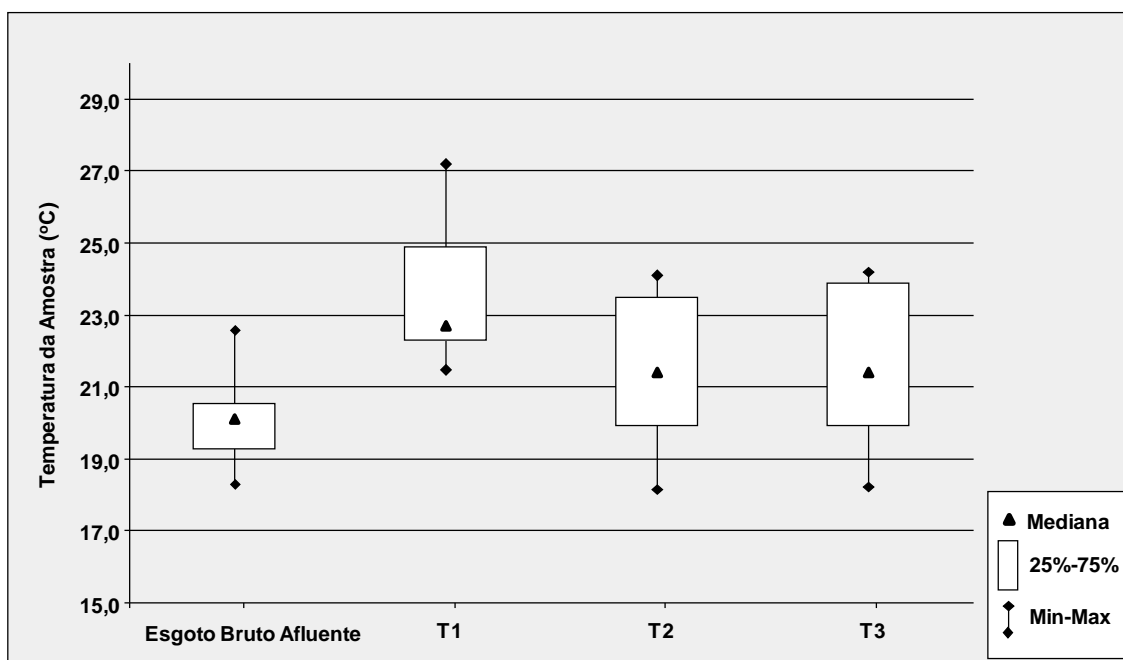


Figura 5.9 –Mediana, quartil e máximos e mínimos da temperatura da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1

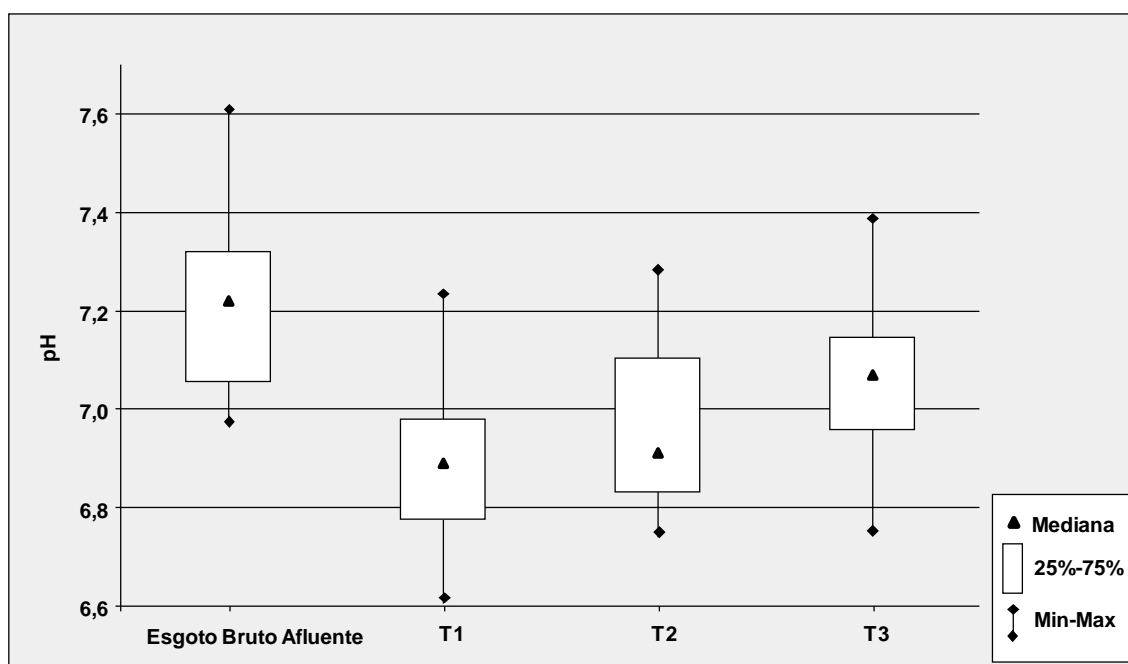


Figura 5.10 –Mediana, quartil e máximos e mínimos do pH da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1

Os valores médios de Acidez encontrados foram de 76,7 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o reator T1; 71,3 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o reator T2 e 62,9 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o reator T3. O esgoto bruto apresentou um valor médio de 32,3 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. A variabilidade dos dados de Acidez dos reatores indicou uma diferença entre o reator T1 aos demais, porém todos estiveram acima do valor encontrado no esgoto bruto.

O mesmo não ocorreu com a Alcalinidade Total, cujos resultados permitiram observar uma paridade entre os reatores com uma leve alcalinização do efluente dos reatores. Os valores médios para Alcalinidade Total foram de 188 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, 180,2 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, e de 180,7 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ respectivamente. O valor da Alcalinidade Total para o esgoto bruto foi de 177,8 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Foram verificadas variações maiores de máximo e mínimo na Alcalinidade Total dos reatores T2 e T3, porém a mediana permaneceu igual.

Os valores referentes à Acidez e Alcalinidade Total quanto a sua variação em relação à mediana podem ser observados nas Figuras 5.11 e 5.12. Na Tabela 5.3 estão apresentados os valores de média e desvio padrão dos parâmetros monitorados na fase de Operação 1.

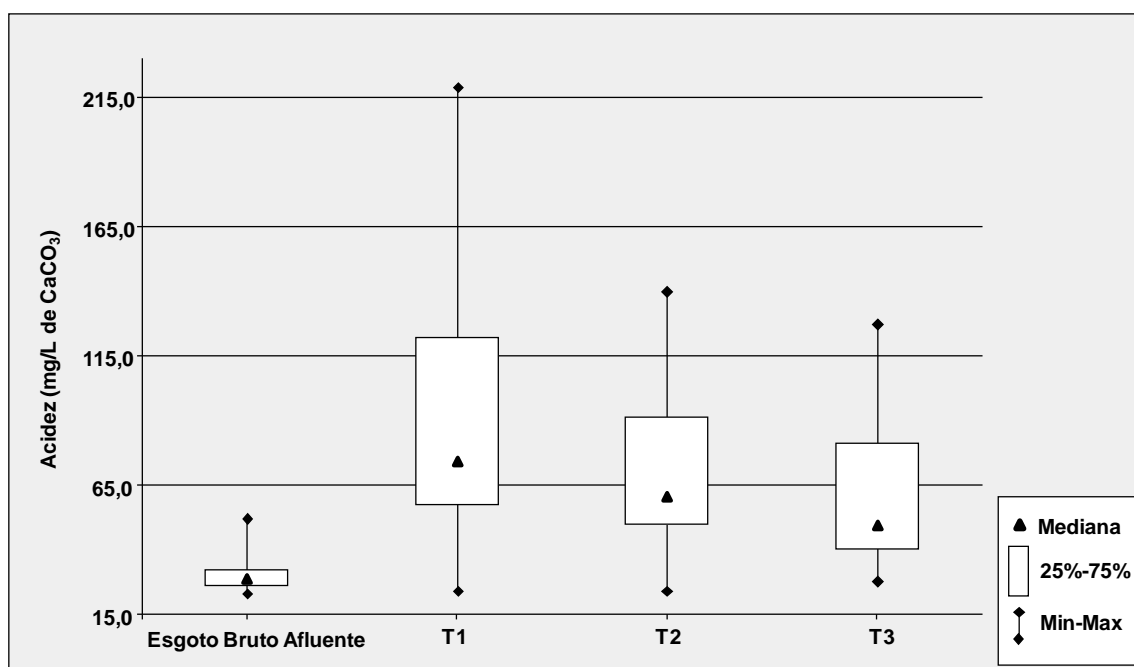


Figura 5.11 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Acidez da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1

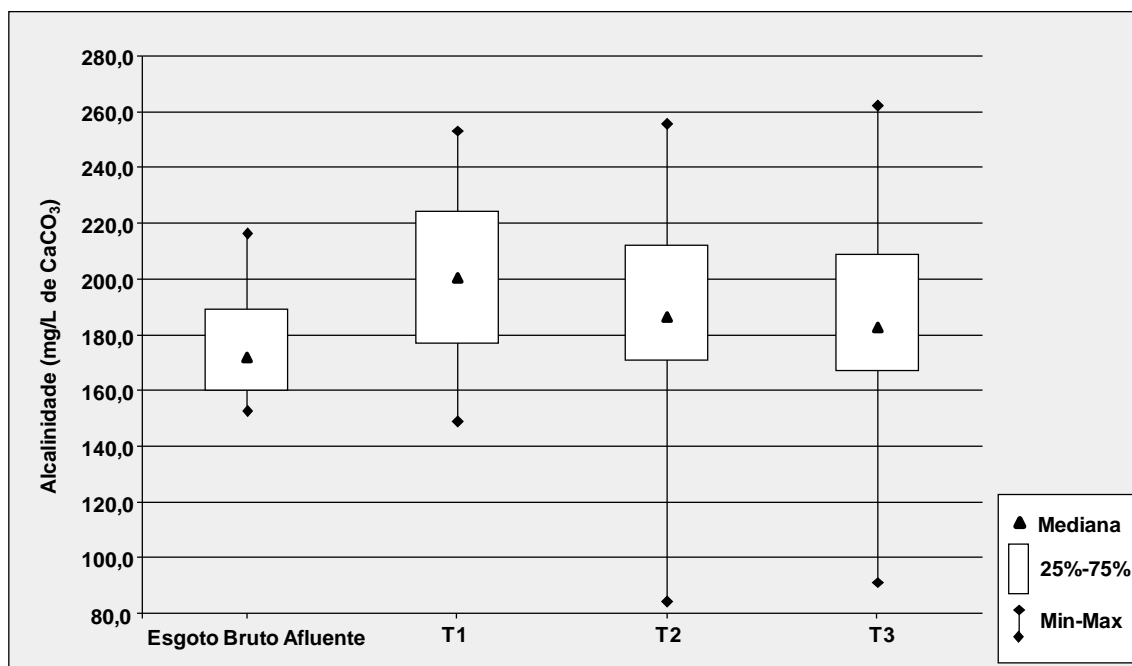


Figura 5.12 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Alcalinidade Total da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 1

5.2.3 Fase UASB + Lodo Dose 1

Na fase UASB + Lodo Dose 1 foi aplicado 110 L d^{-1} de lodo séptico conjuntamente com o esgoto sanitário nos reatores T1 e T2, permanecendo o reator T3 em branco.

A DBO média do efluente dos reatores T1, T2 e T3 foram de 61 mg L^{-1} , 69 mg L^{-1} e 58 mg L^{-1} , obtendo uma eficiência de remoção de aproximadamente 84%, 82% e 86%. A DQO média do efluente foi de 131 mg L^{-1} para o reator T1, 169 mg L^{-1} para o reator T2 e 155 mg L^{-1} para o reator T3, obtendo uma eficiência de 79%, 73% e 75% para os respectivos reatores. Ambos os resultados ficam dentro do esperado para os reatores UASB segundo apresentado por Chernicharo (1997), porém pouco afastados dos 86% encontrados por Aisse (2002) em sua tese desenvolvida na instalação piloto. Deve-se salientar que nessa fase foi aplicada carga de DQO, por meio do acréscimo de lodo séptico em aproximadamente 7% para os reatores T1 e T2.

TABELA 5.3 – VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB NA FASE DE OPERAÇÃO 1

Operação 1		Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade Total mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L
Esgoto	Média	20,1	32,3	177,8	290	536	18,0	7,2	12,4	562	278	284
	Desvio Padrão	1,4	12,1	25,8	104	155	9,2	0,2	18,8	194	84	116
Reator	Média	21,5	76,7	188,0	99	202	12,4	7,0	0,8	352	213	139
	Desvio Padrão	2,4	39,5	67,6	30	78	4,7	0,2	0,7	137	53	129
Reator	Média	21,3	71,3	180,2	87	275	11,7	7,0	0,8	333	196	137
	Desvio Padrão	2,3	34,1	60,2	21	270	5,1	0,2	0,8	105	48	103
Reator	Média	21,3	62,9	180,7	77	223	15,0	7,1	2,6	378	219	159
	Desvio Padrão	2,4	31,7	55,8	34	99	14,8	0,2	7,6	222	82	161

Essa melhora não se deve a aplicação do lodo séptico, pois os três reatores se comportaram de forma semelhante, tanto na média quanto na mediana e permaneceram com pequena variação das amostras apresentado pelos valores de máximos e mínimos (Figuras 5.13 e 5.14), obtendo valores superiores aos encontrados na fase de Operação 1. Essa melhoria deve-se, provavelmente, ao aperfeiçoamento da operação e de retirada regular de lodo de excesso gerado pelos reatores.

Houve aumento na média de DQO e de DBO de aproximadamente 100 mg L⁻¹ para ambos os parâmetros proveniente do esgoto bruto, indicando cargas orgânicas mais concentradas do que foi previsto para a operação dos reatores.

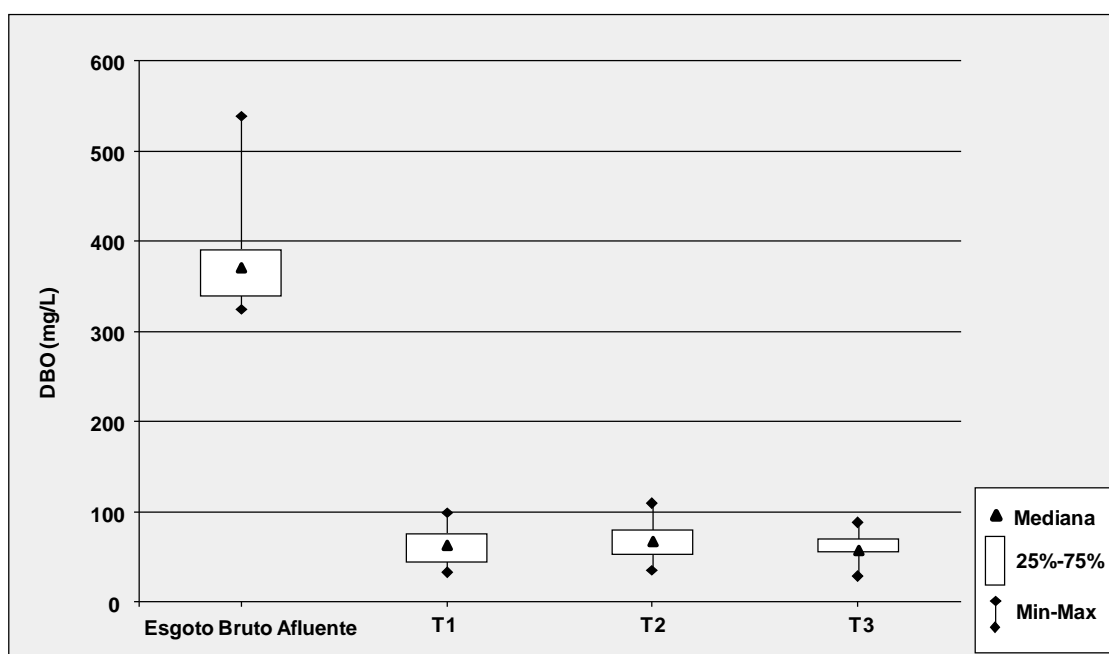


Figura 5.13 –Mediana, quartil e máximos e mínimos de DBO da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 1

Os valores médios de Sólidos Sedimentáveis na fase de UASB + Lodo Dose 1 foram de 1,0 mL L⁻¹, 0,4 mL L⁻¹ e 0,7 mL L⁻¹ para os reatores T1, T2 e T3 respectivamente, explicando a melhoria da eficiência de remoção de DBO e de DQO.

Com a melhoria da operação dos reatores, houve estabilização da variação de Fosfato que se apresentou no efluente dos três reatores na ordem de 2,9 mg L⁻¹.

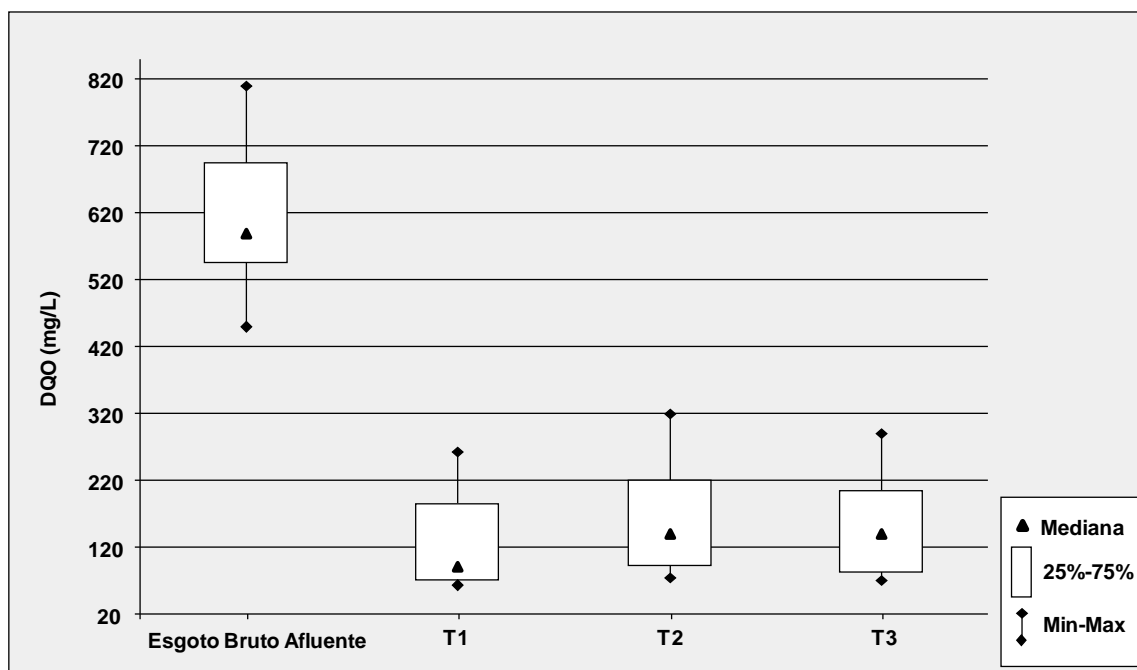


Figura 5.14 –Mediana, quartil e máximos e mínimos de DBO da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 1

Nesse período houve aumento da temperatura média em 2 graus em relação a fase de Operação 1. Essa variação provavelmente ocorreu devido a um período quente do ano, entre a primavera e o início do verão, em relação a Operação 1. Em particular, continuou-se a observar um aumento de 1,0 °C na temperatura média dos reatores em relação ao esgoto bruto, pelos iguais motivos apresentados na fase de Operação 1. Tanto a média, em torno de 23 °C, quanto em relação a variabilidade das amostras (quartis), os três reatores permaneceram com comportamentos similares. A Figura 5.15 apresenta as variações da mediana e dos quartis, aparentemente similar nos três reatores.

Quanto ao pH, permaneceu neutro tanto para o esgoto bruto quanto para os três reatores. Houve uma aproximação tanto da média quanto da mediana (pH 6,9) nesta fase da pesquisa. A paridade da mediana pode ser observada na Figura 5.16.

As variações da mediana e dos quartis da Acidez dos reatores, permaneceu praticamente igual entre os dois períodos como pode ser observado na Figura 5.17. Porém a média, tanto dos reatores quanto do esgoto bruto, elevou-se em relação à Operação 1. A Acidez média encontrada foi de 50,9 mg CaCO₃ L⁻¹ para o esgoto bruto e de 98,6 mg CaCO₃ L⁻¹; 92,4 mg CaCO₃ L⁻¹; e 90,4 mg CaCO₃ L⁻¹ para os reatores T1, T2 e T3 respectivamente.

O desvio padrão da Acidez tornou-se significativo para este parâmetro, pois foi determinado valores de aproximadamente $65,0 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para os três reatores.

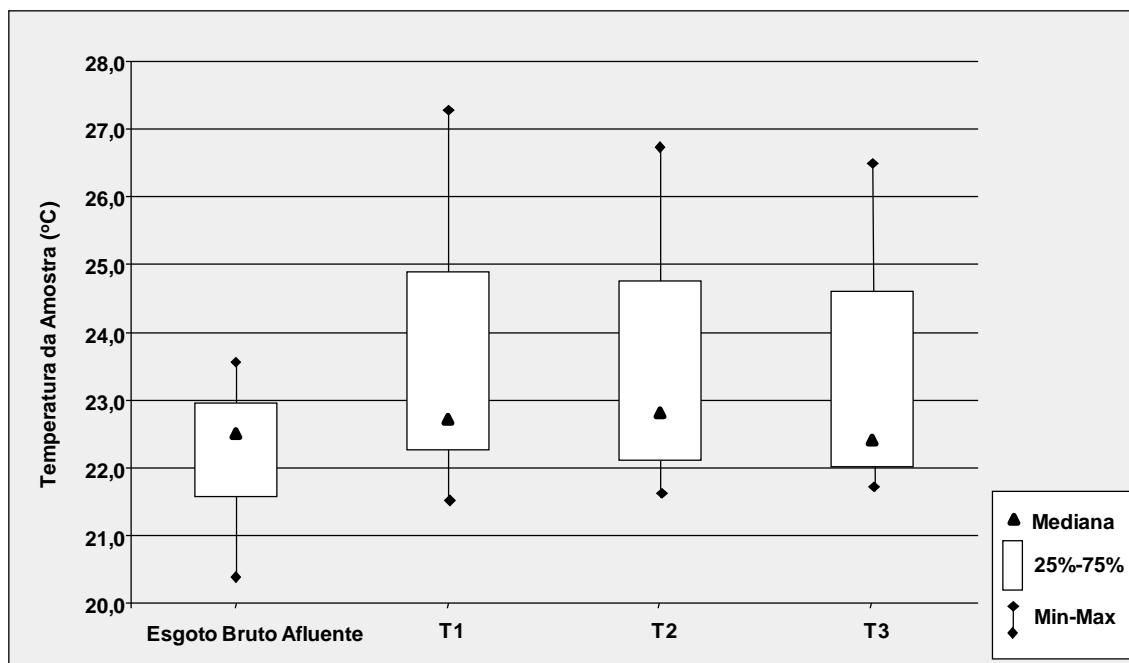


Figura 5.15 –Mediana, quartil e máximos e mínimos da temperatura da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 1

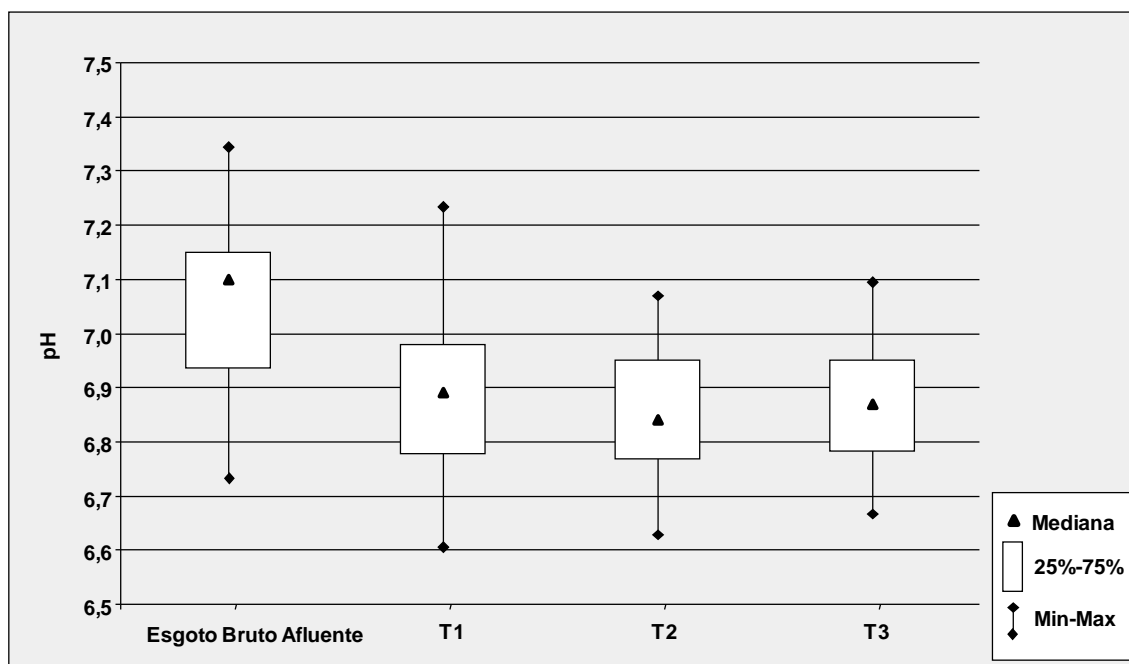


Figura 5.16 –Mediana, quartil e máximos e mínimos do pH da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 1

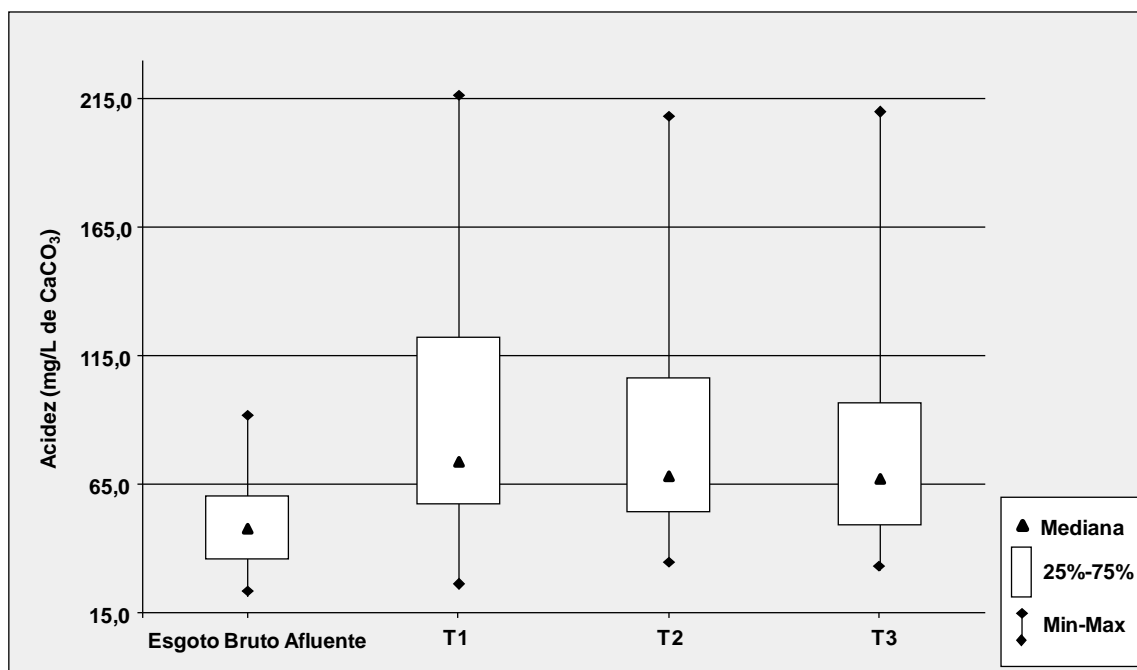


Figura 5.17 –Mediana, quartil e máximos e mínimos da Acidez da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 1

Os valores de Alcalinidade Total permaneceram próximos ao encontrado na fase de Operação 1. Os valores médios encontrados para esta fase foram de 201,9 mg CaCO₃ L⁻¹; 198,6 mg CaCO₃ L⁻¹; e 187,1 mg CaCO₃ L⁻¹ para os reatores T1, T2 e T3, enquanto que o esgoto bruto obteve um valor médio de 160,4 mg CaCO₃ L⁻¹. Quanto à variabilidade temporal dos dados, a Alcalinidade Total permaneceu praticamente imutável para os reatores UASB, porém houve um aumento considerado na variabilidade do esgoto bruto, como pode ser observado na Figura 5.18, em relação à fase de Operação 1.

Não houve alterações significativas nos valores de Acidez, Alcalinidade Total e pH com a adição de lodo séptico nos reatores T1 e T2 em relação ao T3 nessa fase.

A exemplo ao apresentado na fase de Operação 1, segue Tabela 5.4 onde estão explicitados os valores de média e desvio padrão dos parâmetros monitorados na fase UASB + Lodo Dose 1

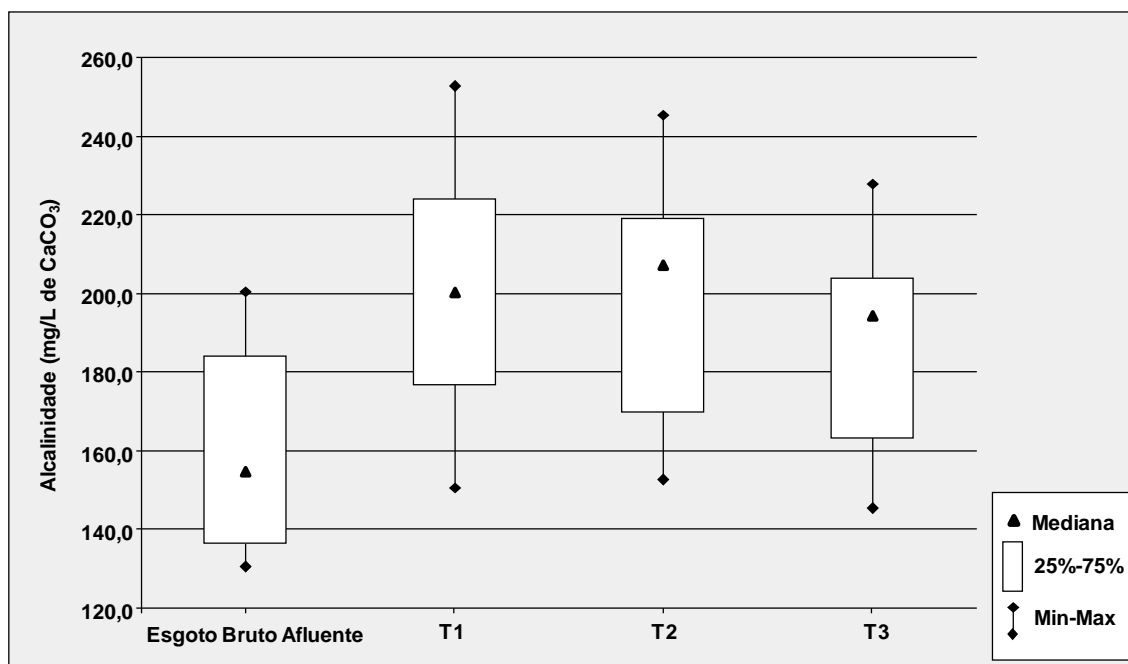


Figura 5.18 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Alcalinidade da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 1.

5.2.4 Fase de Operação 2

Na fase Operação 2 os três reatores não receberam lodo séptico, permanecendo somente com esgoto bruto gradeado em razão da aclimação para as novas dosagens de lodo séptico.

Foram realizadas algumas análises para a DBO para essa fase da pesquisa, porém não foram realizadas análises de DBO para as últimas fases de UASB + Lodo Dose 2 e 3. Na falta de comparação de dados da fase de Operação 2 para a seguinte, os dados referentes a DBO não foram processados.

TABELA 5.4 – VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB NA FASE UASB + LODO DOSE 1

Dose 1		Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade Total mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L
Esgoto	Média	22,2	50,9	160,4	390	618	9,0	7,1	11,9	591	259	332
	Desvio Padrão	1,2	25,6	28,6	88	134	3,9	0,2	3,1	100	56	66
Reator	Média	23,7	98,6	201,9	61	131	2,9	6,9	1,0	291	184	107
	Desvio Padrão	2,2	69,5	36,7	24	85	0,9	0,2	1,7	55	42	43
Reator	Média	23,7	92,4	198,6	69	169	2,9	6,9	0,4	296	187	109
	Desvio Padrão	2,0	65,0	35,7	27	101	0,7	0,2	0,5	58	41	43
Reator	Média	23,4	90,4	187,1	58	155	2,8	6,9	0,7	281	187	94
	Desvio Padrão	1,9	67,8	32,0	23	85	0,7	0,2	0,6	59	51	48

Para as análises de DQO, foram encontrados valores medianos de 150 mg L^{-1} , 133 mg L^{-1} e 122 mg L^{-1} para os reatores T1, T2 e T3 respectivamente. Os valores médios de DQO do esgoto bruto foram de 406 mg L^{-1} . Com esses valores, a eficiência de remoção de DQO do reator T1 foi de 63%, T2 67% e T3 70%. Valores mais altos do que encontrada na fase de Operação 1 e inferiores ao encontrada na fase UASB + Lodo Séptico 1. Ao analisarmos os parâmetros de entrada, a DQO média do esgoto afluente foi inferior aos encontrados nas fases anteriores (406 mg L^{-1}), o que pode ter reduzido a eficiência dos reatores. Outro fator é da variabilidade das amostras de esgoto bruto quanto a DQO. Figura 5.19 apresenta a distribuição dos valores das amostras de DQO no período variando entre a mínima de 300 mg L^{-1} a máxima superior a 1000 mg L^{-1} de DQO (escala logarítmica). O desvio padrão encontrado foi de 360 mg L^{-1} . Estes dois fatores podem ter alterado a eficiência dos reatores neste período.

Os valores médios de Sólidos Sedimentáveis na fase de UASB + Lodo Dose 1 foram de 0,4 mL L^{-1} , 0,4 mL L^{-1} e 1,3 mL L^{-1} para os reatores T1, T2 e T3 respectivamente, permanecendo de igual grandeza da fase anterior sem alterações significativas.

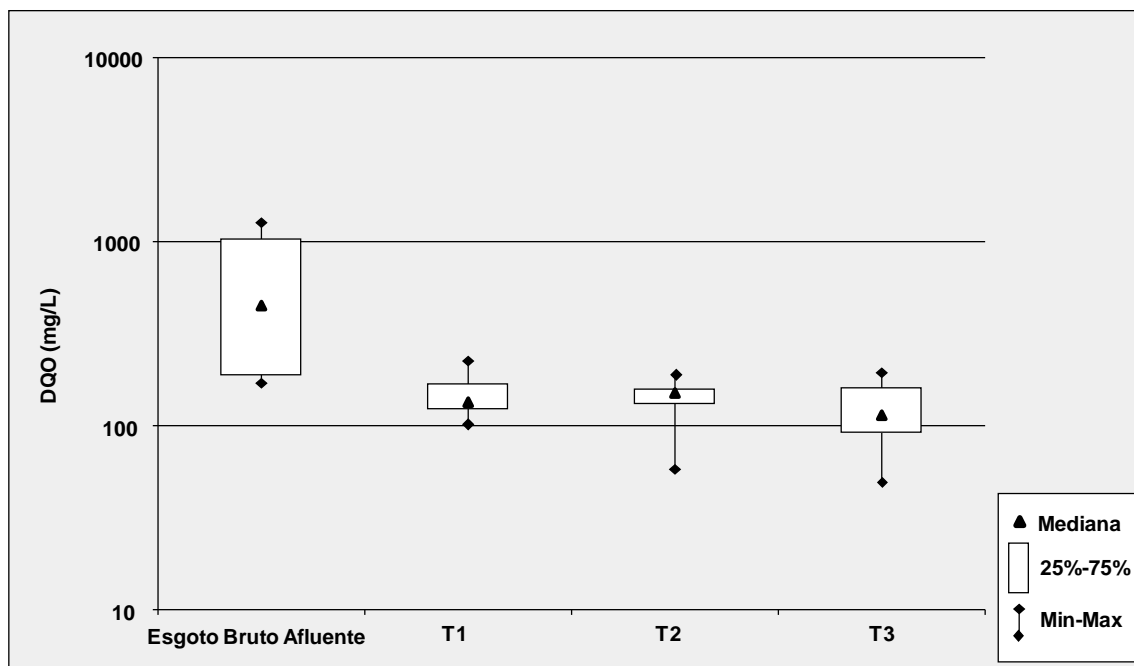


Figura 5.19 – Mediana, quartil e máximos e mínimos de DBO da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 2 (escala logarítmica)

Os dados de Fósforo permaneceram com os valores próximos a 3 mg L⁻¹, tanto para os 3 reatores quanto para o esgoto bruto. A partir dessa fase o parâmetro Fósforo não foi mais analisado.

A média de temperatura da amostra aumentou nesse período, para cerca de 25 °C, e a diferença entre a temperatura do esgoto bruto em relação ao efluente do reator UASB em 1,0 °C. A fase de Operação 2 ocorreu no verão, apresentando variação na distribuição dos valores das amostras ao longo do tempo mais dinâmica em relação as outras fases como pode ser observado na figura 5.20.

Quanto ao pH a faixa permaneceu entre 6,8 e 7,2 para o esgoto bruto e também para os reatores UASB. Não houve também variações quanto à sua distribuição

Percebeu-se também nessa fase aumento na Acidez, tanto no esgoto bruto quanto nos três reatores UASB. O esgoto bruto apresentou um valor de Acidez médio de 63,6 mg CaCO₃ L⁻¹ e os reatores T1, T2 e T3 os valores de 129,8 mg CaCO₃ L⁻¹; 112,0 mg CaCO₃ L⁻¹; e 136,4 mg CaCO₃ L⁻¹. Praticamente o dobro dos valores encontrados na primeira fase estudada. Provavelmente esse aumento se deve as próprias características do esgoto bruto. Outro fator que deve ser levado em consideração é de existir grande variação das amostras para valores acima de 150 mg CaCO₃ L⁻¹ para os 3 reatores, o que pode ter elevado a média para cima. Essa variação pode ser verificado na Figura 5.21.

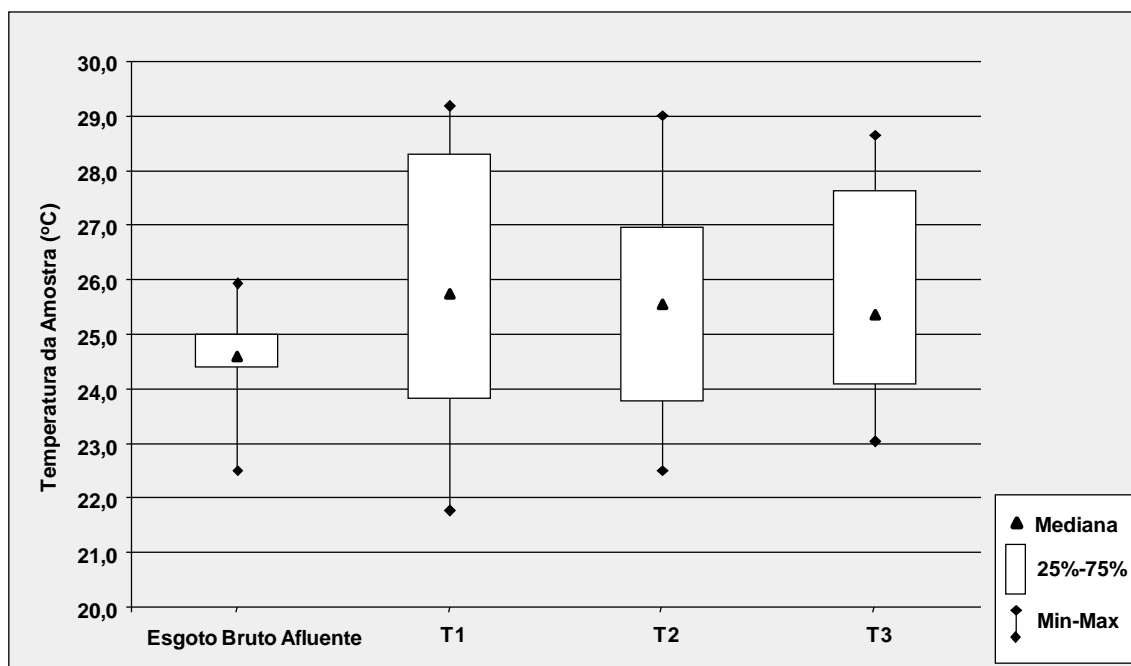


Figura 5.20 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da temperatura da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 2

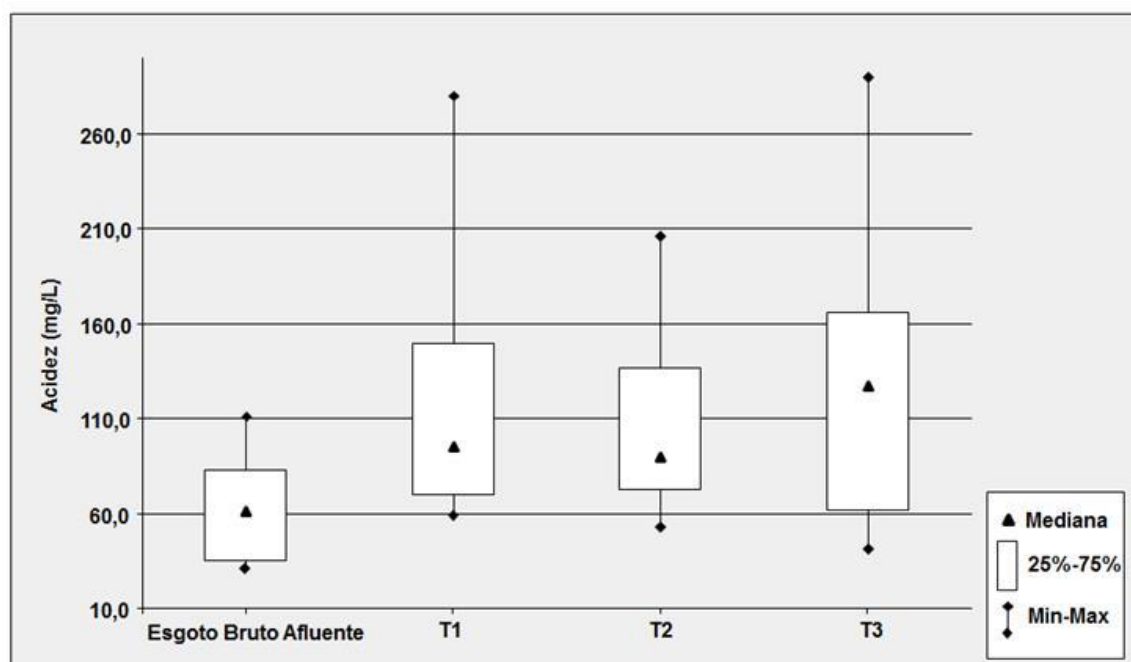


Figura 5.21 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Acidez da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 2

Os valores de Alcalinidade Total apresentaram-se dentro dos padrões encontrados na fase de Operação 1 e UASB + Lodo Dose 1 com valores médios para T1 igual a $189,7 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, T2 igual a $186,5 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e

T3 igual a $191,9 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. O esgoto bruto apresentou um leve decaimento em razão, talvez, do aumento da Acidez do esgoto, com um valor médio de $109,5 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ de Alcalinidade Total. Essa semelhança dos valores de média também acompanhou a distribuição dos valores como pode ser observado na figura 5.22. Os valores médios e desvio padrão dos parâmetros analisados neste período encontram-se descritos na Tabela 5.5.

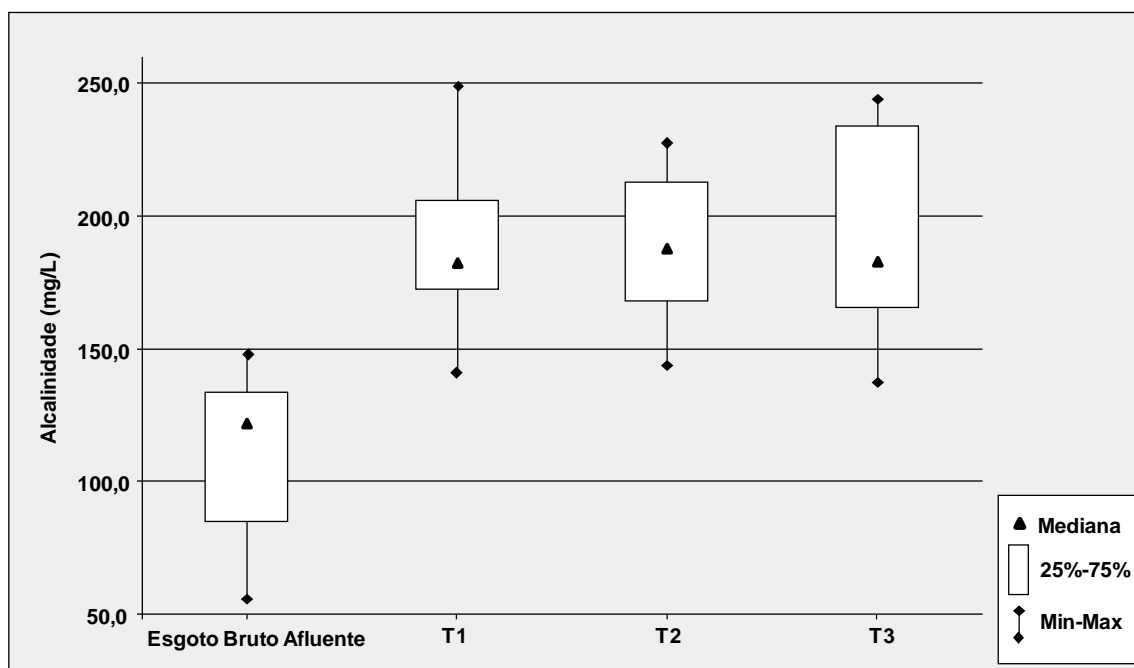


Figura 5.22 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Alcalinidade da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase de Operação 2

5.2.5 Fase UASB + Lodo Dose 2 e 3

As duas últimas fases ocorreram em paralelo, sendo a fase UASB + Lodo Dose 2, com vazão de 250 L d^{-1} de lodo séptico aplicada ao reator T1, e a fase UASB + Lodo Dose 3 com vazão de 450 L d^{-1} de lodo séptico aplicada ao reator T2, permanecendo o reator T3 como branco.

Quanto a DQO, foi observado retomada da eficiência em remoção desse parâmetro em relação a fase de Operação 2 de 78% para o reator T1, 72% para o reator T2 e de 77% para o reator T3. O valor médio de entrada de DQO no sistema foi de 698 mg L^{-1} no esgoto bruto, e a média dos efluentes dos reatores foram 154 194 e 159 mg L^{-1} de DQO para os reatores T1, T2 e T3.

TABELA 5.5 – VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB NA FASE OPERAÇÃO 2

Operação 2		Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade Total	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
		°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/L	mg/L	mg/L
Esgoto	Média	24,5	63,6	109,5	N.A.	406	N.A.	7,0	7,8	583	196	387
Bruto	Desvio Padrão	1,3	32,5	37,5	N.A.	360	N.A.	0,2	6,5	497	108	406
Reator	Média	25,7	129,8	189,7	N.A.	150	N.A.	7,0	0,4	258	175	83
T1	Desvio Padrão	2,9	90,7	40,4	N.A.	53	N.A.	0,2	0,4	90	102	47
Reator	Média	25,4	112,0	186,5	N.A.	133	N.A.	6,9	0,3	246	155	90
T2	Desvio Padrão	2,6	62,9	34,0	N.A.	55	N.A.	0,2	0,0	71	62	39
Reator	Média	25,7	136,4	191,9	N.A.	122	N.A.	7,0	1,3	266	176	90
T3	Desvio Padrão	2,3	102,1	42,8	N.A.	56	N.A.	0,2	1,1	74	69	32

NOTA: N.A. – Não analisado

Pode ser observada uma eficiência menor do reator T2 (maior dose de lodo séptico) e maior desvio padrão em relação aos demais cujos valores são de 54, 106 e 41 mg L⁻¹ de DQO para os reatores T1, T2 e T3. De posse desses dados pode-se notar perdas no reator T2, porém não podemos afirmar que esse foi causado pelo acréscimo de lodo séptico, pois o reator T1 obteve maior eficiência que os demais e também foi alimentado com vazão de lodo séptico. A variação de DQO pode ser observada no efluente do reator T3 tanto em sua distribuição (Figura 5.23), quanto pelo seu desvio padrão. Indicando tendência a alteração na remoção de DQO no sistema quando da aplicação de lodo séptico.

Os valores médios de Sólidos Sedimentáveis na fase de UASB + Lodo Dose 2 e 3 foram de 0,2 mL L⁻¹, 2,0 mL L⁻¹ e 1,2 mL L⁻¹ para os reatores T1, T2 e T3 respectivamente. O reator T2 apresentou desvio padrão de 5,2 mL L⁻¹ de sólidos em fuga do sedimentador, o que pode indicar algum efeito do acréscimo de lodo séptico neste sistema.

O pH apresentou alta significativa em relação as demais fases (Esgoto Bruto faixa de 7,2 a 8,0; Reator T1 faixa de 7,6 a 8,0 Reator T2 faixa de 7,6 a 8,0 e Reator faixa de T3 7,5 a 8,1). Esses valores acompanharam a diminuição da Acidez, pois existe uma relação entre esses dois parâmetros. A variabilidade dos dados indica tendência de tamponamento dos reatores T1 e T2 (acrescido de lodo) em relação ao reator T3 cuja variação de máxima e mínima pode ser observado na Figura 5.24. Não foram realizadas caracterizações do lodo séptico após a diluição com as águas de serviço da estação para verificar os parâmetros de entrada do lodo quanto a Alcalinidade, pH e Acidez, não permitindo avançar nas discussões sobre as interferências no sistema.

A temperatura diminuiu nessa fase de operação dos reatores para temperatura média de 23 °C, não alterando a diferença de 1,0 °C do esgoto bruto ao efluente dos reatores. Não houve mudanças significativas na distribuição das temperaturas ao longo desta fase.

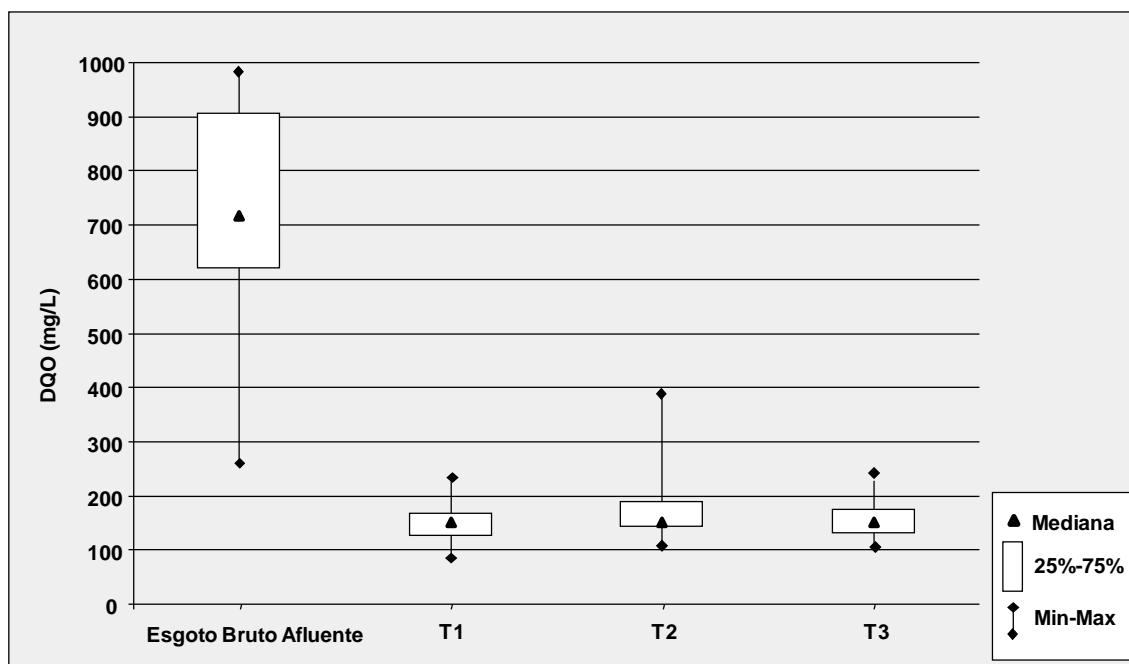


Figura 5.23 – Mediana, quartil e máximos e mínimos de DBO da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 2 e 3

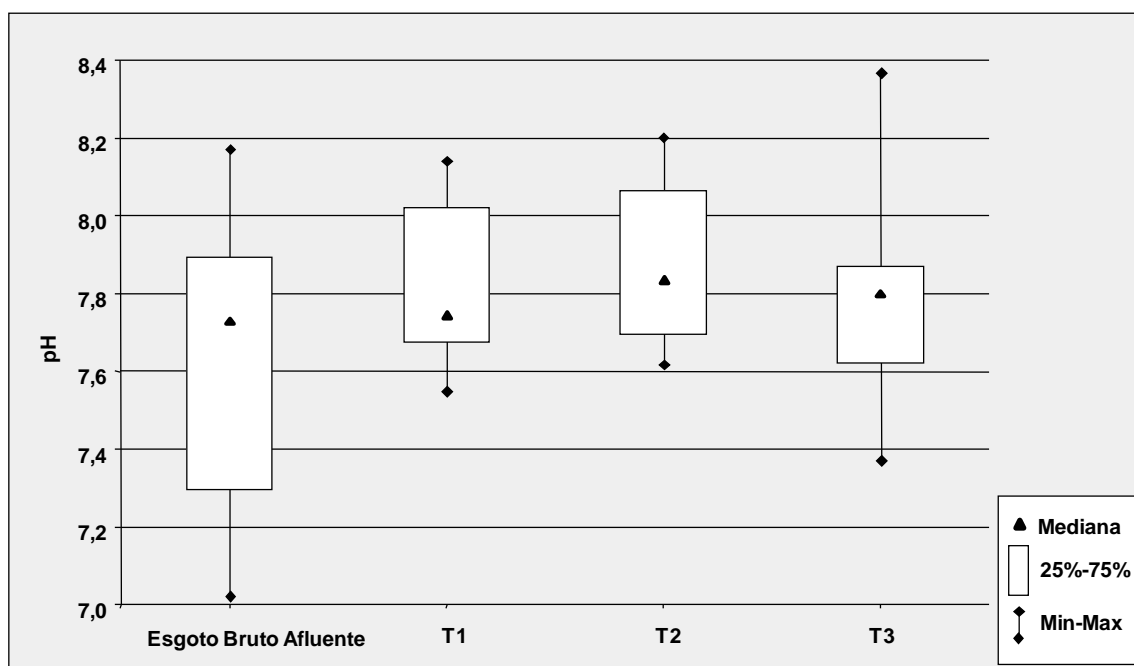


Figura 5.24 – Mediana, quartil e máximos e mínimos do pH da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 2 e 3

Houve alteração brusca da Acidez nos três reatores e no esgoto bruto afluente (na ordem de um log). A Acidez média do esgoto bruto foi de 10,7 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e os reatores T1, T2 e T3 os valores de 12,2 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$; 10,9 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$; e 15,1 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. O reator T3, que não recebeu lodo séptico,

apresentou maior Acidez. Entre os reatores que receberam lodo séptico, o reator T1 apresentou menor de Acidez, dando a sugestão que o lodo séptico possa inibir o desenvolvimento da Acidez no sistema, o que não se pode confirmar pois houve uma diferença muito grande entre os resultados das demais fases anteriores em relação a atual. Cabe informar que nessa última fase, as análises deixaram de ser realizadas no laboratório da ETE Belém da SANEPAR, passando a ser realizadas no LABEAM da UFPR, sugerindo que possa ter ocorrido algum problema com a metodologia ou o procedimento de análise empregado.

Outro fator que poderia verificar se houve alterações na metodologia ou no procedimento de análise dos dois parâmetros anteriores é a Alcalinidade Total. Esse apresentou valores maiores de Alcalinidade coerentes com o esperado pelas alterações encontradas nos dois parâmetros anteriores. O que pode reforçar sim uma alteração nas características na qualidade do esgoto bruto e no seu reflexo nesta fase de operação. Os valores médios encontrados neste período foram de 168,8 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o esgoto bruto, 241,7 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o reator T1, 246,8 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o reator T2 e 238 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o reator T3. Caso seja feita a mesma verificação quanto à quantidade de lodo séptico, o reator que possuía maior aplicação de lodo séptico apresentou maior valor de Alcalinidade Total, reforçando a proposta Alcalinizante do lodo séptico. Pelas observações realizadas por Ingunza *et al.* (2009), a Alcalinidade Total média de lodo séptico pode alcançar valores próximos a 1000 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$.

Na Figura 5.25 pode ser notada maior variação na distribuição dos resultados da Acidez no reator T3. O reator T2 (a de maior carga de lodo séptico) apresenta sua variação com tendências à mediana, reforçando a afirmação da influência do lodo. O oposto pode ser verificado na Figura 5.26, onde pode ser observada variação maior no reator T2 em relação aos outros reatores. A Tabela 5.6 apresenta um quadro resumo das operações, ajustadas do delineamento da pesquisa (Tabela 5.1) para a realidade utilizada englobando todas as operações. Quanto a fase UASB + Lodo Dose 2 e 3, os valores médios e desvio padrão dos parâmetros analisados nesse período encontram-se descritos na Tabela 5.7.

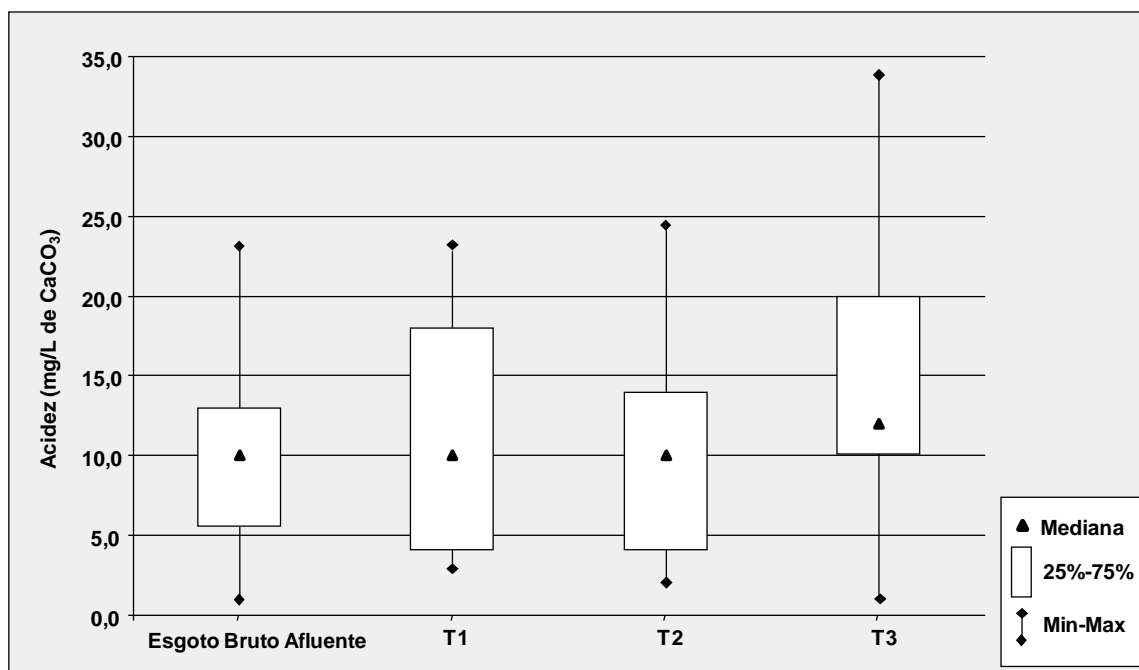


Figura 5.25 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Acidez da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 2 e 3

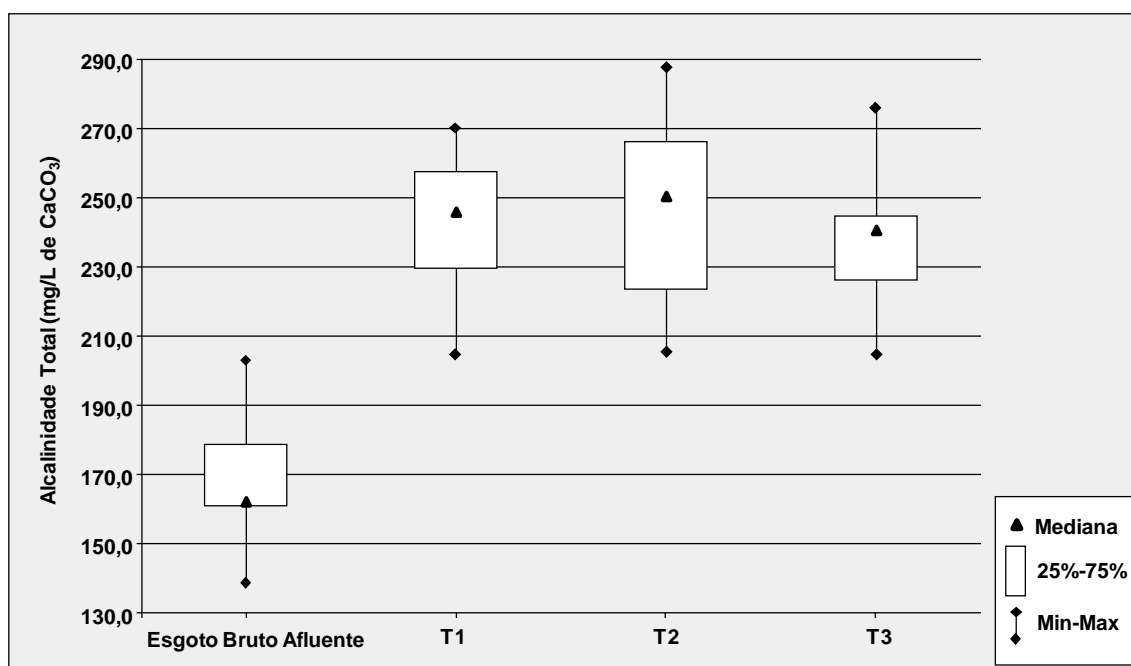


Figura 5.26 – Mediana, quartil e máximos e mínimos da Alcalinidade da amostra de Esgoto Bruto Afluente e dos efluentes dos reatores T1, T2 e T3 na fase UASB + Lodo Dose 2 e 3

**TABELA 5.6 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DOS REATORES UASB
TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO E LODO SÉPTICO**

Esgoto Bruto					
Dosagem	Q (L.d⁻¹)	ST (mg.L⁻¹)	DQO (mg.L⁻¹)	CST (kg.d⁻¹)	CDQO (kg.d⁻¹)
1	6000	591	618	3,5	3,7
2	6000	587	698	3,5	4,2
3	6000	587	698	3,5	4,2

Lodo Séptico					
Dosagem	Q (L.d⁻¹)	ST (mg.L⁻¹)	DQO (mg.L⁻¹)	CST (kg.d⁻¹)	CDQO (kg.d⁻¹)
1	110	3515	2280	0,44	0,3
2	250	3650	3150	0,90	0,8
3	450	3650	3150	1,60	1,4

Carga Volumétrica			Relação Lodo / Esgoto		
Dosagem	CVST (kg. m⁻³ d⁻¹)	CVDQO (kg. m⁻³ d⁻¹)	Q (%)	TS (%)	DQO (%)
1	0,22	0,15	1,8	12,6	8,1
2	0,45	0,40	4,2	25,7	19,4
3	0,80	0,70	7,5	45,7	33,3

Onde: CST – Carga de ST, CVST – Carga Volumétrica de ST, CDQO – Carga de DQO e CVDQO – Carga Volumétrica de DQO

TABELA 5.7 –VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO MONITORAMENTO DOS REATORES UASB + LODO DOSE 2 E 3

UASB + Lodo Dose 2 e 3		Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade Total	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
		°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/L	mg/L	mg/L
Esgoto	Média	22,9	10,7	168,8	N.A.	698	N.A.	7,6	9,9	601	286	315
Bruto	Desvio Padrão	2,2	9,0	25,3	N.A.	265	N.A.	0,4	3,3	135	142	155
Reator	Média	23,3	12,2	241,7	N.A.	154	N.A.	7,8	0,2	417	247	170
T1	Desvio Padrão	2,2	8,2	24,4	N.A.	54	N.A.	0,2	0,2	175	156	126
Reator	Média	23,3	10,9	246,8	N.A.	194	N.A.	7,8	2,0	333	204	141
T2	Desvio Padrão	2,2	8,5	30,5	N.A.	106	N.A.	0,2	5,2	105	111	52
Reator	Média	23,1	15,1	238	N.A.	159	N.A.	7,8	1,2	303	206	93
T3	Desvio Padrão	2,5	12	26,4	N.A.	41	N.A.	0,3	2,6	142	133	71

NOTA: N.A. – Não analisado

5.4 ESTABILIZAÇÃO DO LODO ANAERÓBIO

Foram realizados 10 descartes do excesso de lodo anaeróbio dos reatores UASB (purga). Inicialmente foram retirados de 120 L de lodo por reator, distribuídos igualmente ao longo dos 6 registros posicionados na vertical. As análises de Sólidos Sedimentáveis do efluente dos reatores indicam que o volume era insuficiente, pois ocorriam perdas de lodo pelo efluente dos reatores, inclusive após as purgas. De forma a diminuir a quantidade de lodo acumulado, foi alterado o volume da purga para 220 L de lodo anaeróbio por reator, levando em consideração a quantidade elevada de sólidos sedimentáveis do efluente dos reatores (e.g. $1,0 \text{ mL L}^{-1}$). Nos últimos descartes, o volume do lodo retirado de cada reator sofreu novo aumento para 240 L, sendo que a partir de então, não houve necessidade de acréscimo de volume a ser descartado. Considerando o volume da área destinada ao armazenamento e digestão do lodo nos reatores, que é de $1,26 \text{ m}^3$, o lodo descartado correspondeu a 19% do volume do lodo armazenado nos reatores. A Tabela 5.8 apresenta os valores do volume descartado e a sua porcentagem em relação ao volume do armazenamento em cada uma das purgas do lodo.

TABELA 5.8 – DEMONSTRATIVO DAS VARIAÇÕES DO VOLUME DESCARTADO NOS REATORES UASB PILOTO, ETE BELÉM

Purga	Data	Volume Descartado (L)	Lodo Descartado em Relação ao Volume de Armazenamento (%)
1	12/05/08	120	9,5
2	05/08/08	120	9,5
3	01/10/08	220	17,5
4	03/11/08	220	17,5
5	10/12/08	240	19
6	23/01/09	240	19
7	13/03/09	240	19
8	24/04/09	240	19
9	21/05/09	240	19
10	18/06/09	240	19

Foram feitas análises de Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Voláteis no lodo anaeróbio nos 10 descartes realizados durante a pesquisa. Na fase de Operação 1 foi identificada tendência de aumento na concentração de Sólidos Totais (ST) nos reatores T1, T2 e T3 entre os Descartes 1 e 2, mesmo não recebendo adição de lodo séptico (Figura 5.27).

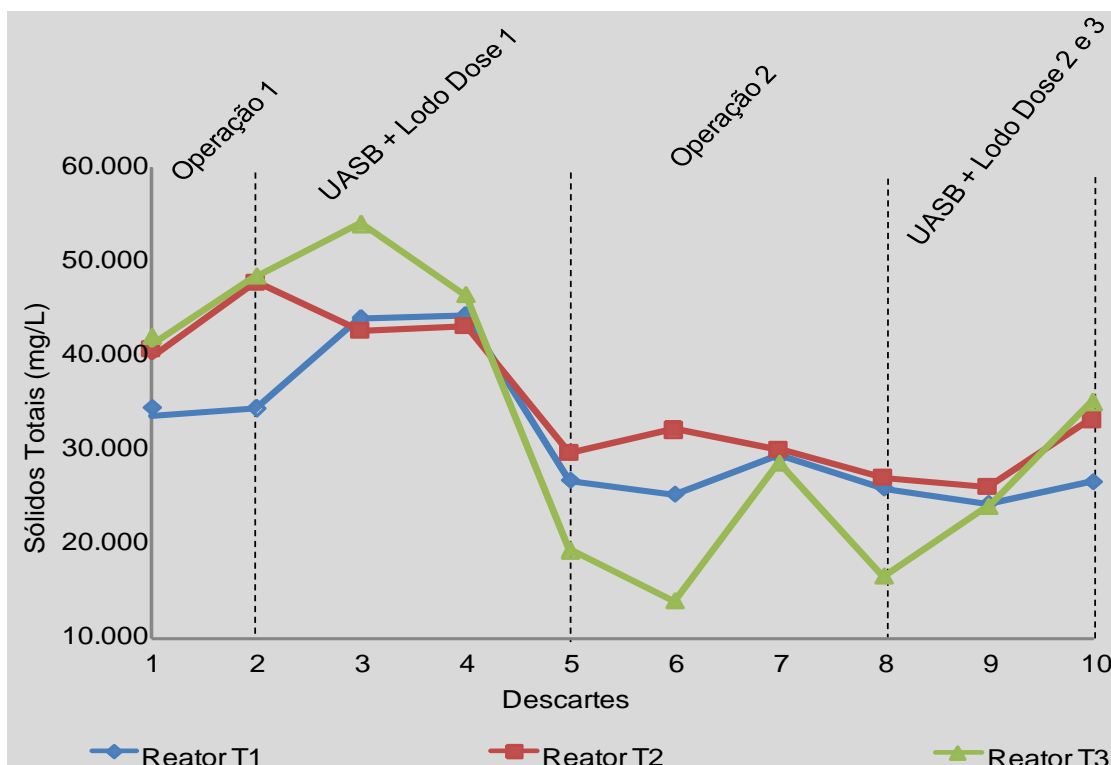


Figura 5.27 – Comportamento do lodo anaeróbio descartado dos reatores UASB T1, T2 e T3

Procurou-se observar se esse aumento persistiria nos descartes seguintes durante a fase de aplicação de lodo, porém não foi o verificado. Houve um decréscimo na concentração de lodo que acompanharam o aumento do descarte na purga. A partir da purga 5, houve tendência a manter a concentração em torno de 30.000 mg L^{-1} . O reator T3 indicou possuir a maior variabilidade quanto sua à concentração de lodo.

A relação SV/ST variou entre 0,51 a 0,64, indicando a estabilidade do lodo ao longo de toda a pesquisa como pode ser observado na Figura 5.28. Porém verificou-se que houve uma tendência de aumento da quantidade de Sólidos Voláteis em relação aos Sólidos Totais. Quanto maior for a relação SV/ST pior é a estabilidade do lodo, por conter maior quantidade de matéria orgânica (ANDREOLI, 2001). Além disso, segundo a resolução nº 375 de 29 de

agosto de 2006, do CONAMA (BRASIL, 2006), para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70, valores obtidos pelo estudo.

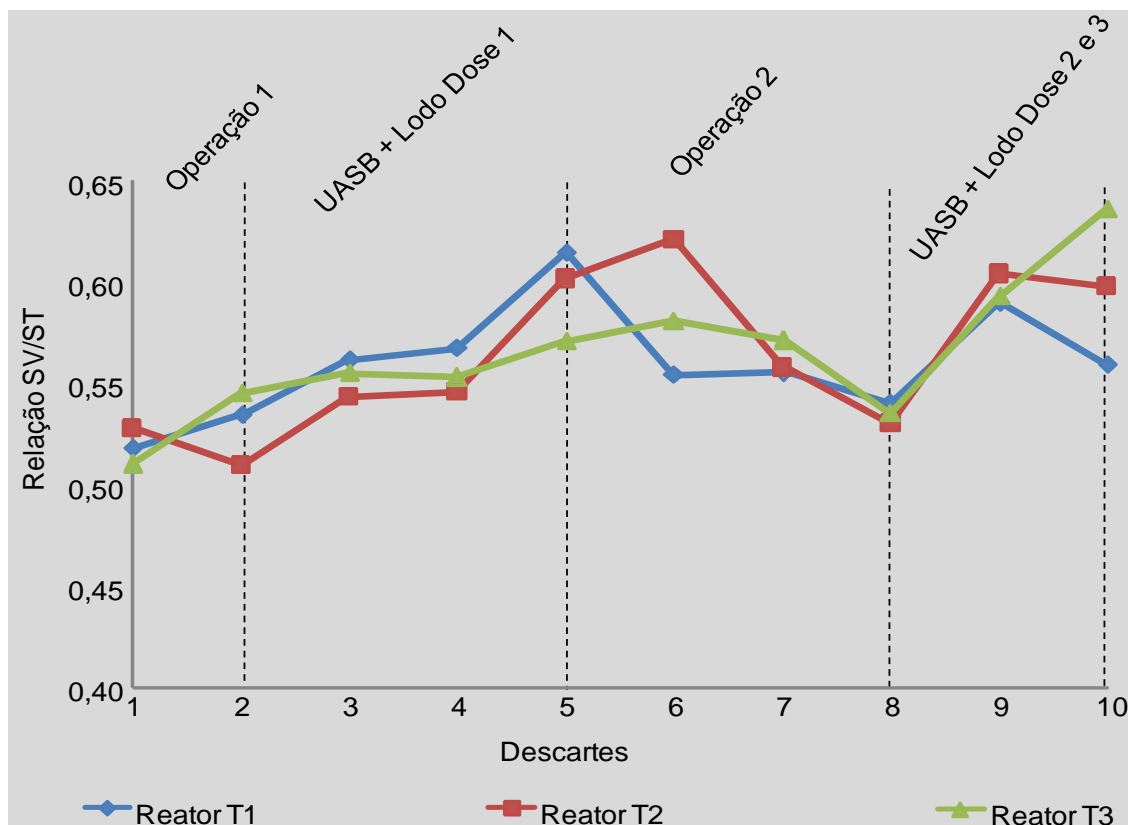


Figura 5.28 – Relação SV/ST do lodo anaeróbico dos reatores UASB T1, T2 e T3

É importante notar que o período de menor relação SV/ST, do lodo anaeróbico retirado dos reatores, foi durante e logo após a aplicação do lodo séptico. Este fator pode significar que o lodo séptico não tenha afetado a estabilidade do lodo dos reatores, pois o reator T3, que não recebeu lodo séptico, apresentou a maior relação SV/ST (0,64). Na última fase, os reatores T1 e T2 apresentaram uma relação menor ao T3, e foram estas as doses de lodo séptico aplicadas mais significativas. Inguza *et al.* (2009) apresentaram valores de Sólidos Totais e de Sólidos Voláteis do lodo séptico analisado que chegaram a uma relação SV/ST próximas a 0,60, indicando comportamento semelhante entre o lodo séptico e o lodo anaeróbico quanto a sua estabilização.

Os dados referentes à purga do lodo encontram-se no Anexo E.

5.5 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DO LODO SÉPTICO

Foram aplicadas taxas crescentes de lodo séptico nas fases de UASB + Lodo Dose 1, 2 e 3 na ordem de 110 L d^{-1} , 250 L d^{-1} e 450 L d^{-1} . Para o comparativo dos dados foram realizados estudos estatísticos de similaridade entre os reatores UASB em grupos distintos para verificar se houveram diferenças no comportamento dos reatores durante as fases de Operação 1 e 2 e das de inserção de lodo séptico UASB + Lodo Dose 1, 2 e 3. Os testes foram aplicados para os principais componentes de estudo, a DQO e Sólidos Totais.

Foi selecionado o teste não-paramétrico de Kuskal-Wallis para amostras independentes por apresentar características favoráveis de população e mediana utilizando do *Software Analyse-It* para Windows Excel V.2.2. A Tabela 5.9 apresenta os testes realizados nos reatores T1, T2 e T3 entre si e entres os três reatores em todas as fases da pesquisa. Os valores de p indicam que existe uma chance de 7% no Teste 4 e no Teste 7 para assumir uma diferença estatística entre as medianas para a DQO e de praticamente 5% para os Sólidos Totais.

TABELA 5.9 – APLICAÇÃO DO TESTE DE KUSKAL-WALLIS PARA DIFERENÇAS ENTRE AS MEDIADAS DOS REATORES T1 T2 E T3

	Reatores			Fase de Estudo	DQO p	ST p
Teste 1	T1	T2	T3	Operação 1	0,05	0,05
Teste 2	T1	T2	T3	UASB + Lodo Dose 1	0,04	0,05
Teste 3	T1	T2	T3	Operação 2	0,06	0,05
Teste 4	T1	T2	T3	UASB + Lodo Dose 2, 3	0,07	0,05
Teste 5		T1		Todas as Fases	0,02	0,03
Teste 6		T2		Todas as Fases	0,02	0,05
Teste 7		T3		Todas as Fases	0,07	0,05

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o tratamento do lodo de tanques sépticos, pré-tratado, combinado com esgoto sanitário bruto empregando reatores UASB. Foram utilizados três reatores piloto instalados em uma área contígua a ETE Belém, na cidade de Curitiba, Paraná. Foi utilizado esgoto bruto gradeado na própria ETE e lodo séptico pré-tratado, cuja origem provém de caminhões que prestam serviços de limpeza de tanques e fossas sépticas na Região Metropolitana de Curitiba. Esta pesquisa fez parte da Rede de pesquisas do PROSAB tema 6 em sua quinta edição.

Durante a pesquisa, foram notadas ocorrências de lodo de origem industrial ou com características que podem ser desfavoráveis a biologia de reatores biológicos, quando os descarregamentos de lodo dos caminhões limpa-fossa. O lodo séptico descarregado pelos caminhões limpa-fossa apresentou diferenças na concentração de Sólidos Totais ao longo do descarte (valores entre 13.000 mg L^{-1} a 66.000 mg L^{-1}). No sistema piloto estudado, os tanques de adensamento e armazenamento serviram como equalizadores do lodo. Essa equalização atendeu não somente a uma padronização da carga de DQO e de Sólidos Totais, mas também a vazão de aplicação do lodo séptico nos reatores. Em situações normais de operação, o descarte de lodo de um caminhão pode resultar em aumento em 40 L s^{-1} na vazão afluente de uma estação. Em estações maiores, esse acréscimo poderia ter poucos impactos, mas em estações de pequeno porte poderiam alterar os regimes hidráulicos o que, no caso de estações com reatores UASB, alteraria a velocidade ascensional do esgoto nos reatores, ocasionando perdas de sólidos pelo efluente, por exemplo.

Foi verificada que a concentração de Sólidos Totais no lodo séptico pode ser utilizada como parâmetro para a estimar a aplicação do lodo em sistemas combinados de tratamento de lodo sépticos e esgoto sanitário. Além dessa limitação, encontrou-se correlação entre os Sólidos Totais com a DQO do lodo séptico ($R^2 = 0,717$), permitindo estimar a carga de aplicação do lodo para ambos os parâmetros.

As variações da vazão, durante as descargas de lodo séptico, não contribuem para uma boa leitura do volume de lodo descartado. As leituras em réguas, nos vertedouros, são imprecisas, pois são pontuais, ou seja, determinado pelos operadores a cada período de tempo.

O sistema de tratamento preliminar obteve uma retenção de sólidos grosseiros em uma proporção de até 1 L de sólidos a cada 850 L de lodo séptico descarregado (peneira de 5 mm).

Foram aplicadas taxas crescentes de lodo séptico nos reatores UASB nas vazões 110 L d^{-1} (carga de $0,22 \text{ kg ST m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ e $0,15 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) na fase UASB + Lodo 1; 250 L d^{-1} (carga de $0,45 \text{ kg ST m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ e $0,40 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) na fase UASB + Lodo 2 e 450 L d^{-1} (carga de $0,80 \text{ kg ST m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ e $0,70 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) na fase UASB + Lodo 3, aplicadas em reatores UASB em escala piloto com vazão de 6000 L d^{-1} (250 L h^{-1}) de esgoto bruto gradeado. Os reatores utilizados na pesquisa não sofreram perdas na sua qualidade de tratamento, nas doses testadas com lodo séptico. Portanto foi identificada a melhor relação entre a dosagem de lodo séptico e esgoto bruto em escala real, como sendo a maior dose de lodo (na fase UASB + Lodo 3) sem o risco de perdas de eficiência.

Em relação às análises de DQO, foi observada uma perda na eficiência na remoção (de até 5%) durante a operação dos reatores que receberam lodo séptico na fase UASB + Lodo 3 (maior dosagem), o que pode indicar que há uma possível interferência na eficiência dos reatores UASB. Nessa mesma fase e no mesmo reator, houve um desvio padrão significativo nas análises em relação aos outros reatores ($106 \text{ mg DQO L}^{-1}$). Apesar dessas observações, as variações não foram fortes o suficiente para afirmar que houve alguma diferença estatística significativa entre os reatores que receberam lodo séptico, daquele que não recebeu esgoto séptico. Sendo assim assume-se que os três reatores se comportaram de forma semelhante.

Foram observadas variações nos parâmetros de Alcalinidade Total, Acidez e pH nos reatores que receberam lodo séptico nas fases UASB + Lodo 2 e 3, tanto em sua média quanto em sua distribuição indicando, possivelmente, que possa haver alguma intervenção do lodo séptico na dinâmica microbiológica dos reatores.

O volume do lodo de excesso gerado pelos reatores correspondeu a 19% do volume destinado à digestão e o armazenamento do lodo nos reatores UASB piloto ($1,26 \text{ m}^3$). O lodo anaeróbio retirado dos reatores UASB pôde ser considerado estabilizado (relação SV/ST entre 0,55 a 0,61 em média). O período de menor estabilidade do lodo anaeróbio foi durante e logo após a adição de lodo séptico, porém este não pode ser correlacionado com o acréscimo de lodo, pois o reator T3 não recebeu lodo séptico e obteve a maior relação SV/ST (0,64). Assim, o acréscimo do lodo séptico aparentemente não afetou a estabilidade do lodo anaeróbio.

Sugere-se para a utilização do tratamento combinado de lodo séptico e esgotos domésticos, em escala plena, a utilização de uma carga de até $0,7 \text{ kg ST m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, sem que haja prejuízos ao sistema, pelo menos até valores mais precisos sejam encontrados.

Conclui-se que a hipótese é verdadeira, que não ocorram reduções significativas na eficiência do reator e na qualidade do lodo anaeróbio produzido, empregando-se COV de lodo séptico até $0,7 \text{ kg ST m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de reator.

Recomendações

Considera-se em futuros trabalhos a necessidade de uma maior precisão no controle de cargas de entrada e saída, tanto de esgoto doméstico quando de lodo séptico. Uma avaliação na produção de gás e de atividade metanogênica dos lodos nos reatores UASB, proporcionaria uma investigação mais apurada das reais influências com a aplicação do lodo séptico.

Sugere-se uma investigação da aplicação do lodo séptico em reatores UASB em escala menor, que permita investigar parâmetros e conceitos que, em reatores de maior escala, tornariam a investigação consideravelmente onerosa ou que tornem a operação demasiadamente complexa.

De uma forma geral, recomenda-se submeter o lodo a tratamento preliminar, de eficiência igual ou superior àquela do esgoto bruto afluente a estação, permitindo assim que sólidos grosseiros provenientes do lodo séptico não venham causar prejuízos ao sistema.

A confecção de hidrogramas com coleta contínua de informação por meio de medidor de vazão automático, ou com o uso de tanques equalizadores com

indicações precisas de volume, auxiliaria na verificação da quantidade de lodo descartado em uma estação de tratamento. Esse procedimento permitiria um maior controle na inserção do lodo nos reatores e no valor, quando houver, das taxas cobradas das empresas de limpa-fossa pelo serviço do tratamento do lodo.

Também recomenda-se a utilização de um sistema de equalização para o lodo séptico. A adoção deste sistema poderia garantir um tempo de retenção do lodo descarregado na estação de tratamento, permitindo que haja uma investigação sobre as características do lodo descarregado. De posse de novas informações, poderia haver retificações na carga de aplicação do lodo ou até a sua suspensão.

Sugere-se que novas pesquisas prossigam o aumento da inserção de lodo a partir dos últimos valores de adição de lodo séptico aplicado nos reatores (carga de $0,7 \text{ kg ST m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de reator), primeiramente de forma contínua.

Para a aplicação do lodo séptico de maneira controlada, poderia-se equalizar a carga variável de DQO do esgoto bruto afluente a uma estação com dosagem específica de lodo de tanques sépticos. A equalização ocorreria pela estimativa da máxima carga de DQO do esgoto bruto recebida pela estação. Em outras palavras, seria completar com lodo séptico o equivalente, em carga em DBO, até atingir a máxima carga diária de DBO da estação.

Caso a estação não possua mecanismos que possibilite a variação da vazão de lodo séptico ao longo do dia que acompanhasse um hidrograma sugerido, poderia ser aplicado a carga de lodo séptico apenas no período noturno, ou seja, a de menor carga de esgoto bruto

Desconhece os efeitos em longo prazo da inserção de lodo séptico em tratamento combinado ao esgoto domésticos. Uma investigação na perda da qualidade do tratamento a longo termo de no mínimo de um ano ou mais de aplicação de lodo séptico também deve ser cogitado pra novas pesquisas.

7. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229 – **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649 - Projetos de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

AISSE, M. M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.191p.

AISSE, M. M. **Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Tese de Doutorado. EP.USP: São Paulo, 2002. 284 p.

AISSE, M. M.; JURGENSEN, D.; LOBATO, M. B.; SOBRINHO, P. A., **Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário**.In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. João Pessoa: ABES, 2001a. p. 1-8.

AISSE, M. M.; LOBATO M., B.; BONA, A.; GARBOSSA, L. H. P.; JURGENSEN, D.; SOBRINHO, P. A., **Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico para o tratamento de esgoto sanitário** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. João Pessoa: ABES, 2001b. p. 1-8.

ANDREOLI, C. V. (Coord.) **Resíduos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20ed. Washington, DC: APHA. 2000.

BOUNDS, T. R. **Design and Performance of Septic Tanks. Site Characterization and Design of Onsite Septic Systems** ASTM STP 901. Eds. American Society for Testing Materials, Philadelphia, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução 375, de 29 de agosto de 2006. **Define Critérios e Procedimentos, para o Uso Agrícola de Lodos de Esgoto Gerado em Estações de Tratamento de Esgotos Sanitário e seus Produtos Derivados, e dá Outras Providências**. Brasília. 2006.

CAMPOS, J. R.; ANDRADE NETO, C. O. Introdução. In: CAMPOS, J. R. (coord.), **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.155-198.

CAMPOS, J. R., POVINELLI, S. C. S., AISSE, M. M., SOUZA, M. A. A., SAMWAYS, G., ALÉM SOBRINHO, P., **Tratamento combinado de lodo de**

tanque séptico e de fossas com esgoto sanitário. In: ANDREOLI, C.V., (coord.). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro, ABES, 2009. p.181-281.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico das Águas residuárias – Volume 5: Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. 1997.246p.

EPA *Environmental Protection Agency. Process Design Manual – Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage.* EPA: USA, 1995. 290p.

FORESTI, E.; FLORENCIO, L. Van HAANDEL; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P.F.F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** CAMPOS (coordenador). Rio de Janeiro: ABES. 1999.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde, **Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrente de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado.** Brasília: Ministério da Saúde, 2010. p.246.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde, **Manual de saneamento: normas e diretrizes.** Brasília: Ministério da Saúde, 2007. p.408.

GEORGIU, M.; GIZGIS, N.; DIAMADOPOULOS, E. **Anaerobic Treatment of Primary Domestic Wastewater by Means of a UASB Reactor Followed by Coagulation.** In *7th International Conference on Environmental Science and Technology, Ermoupolis, Ilha de Sirus, Grecia.* 2001 p. 235–242.

GERARDI, M. H. **The microbiology of anaerobic digesters.** 2th ed. John Wiley & Sons, Inc. 2003. p. 177.

GODOY, T. G.; PIROTTI, S. M.; SILVA, S. S.; SOUTO, G. A. B.; POVINELLI, J. Efeito da Descarga de caminhões limpa fossa em Estações de Tratamento de Esgoto de pequeno porte. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24. **Anais.** Rio de Janeiro:ABES. 2007.

GODOY, T. G.; PIROTTI, S. M.; SILVA, S. S.; SOUTO, G. A. B.; POVINELLI, J. Efeito da Descarga de caminhões limpa fossa em Estações de Tratamento de Esgoto de pequeno porte. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24. **Anais.** Rio de Janeiro:ABES. 2007.

GONCALVES, C. do P., **Impacto do lançamento do lodo de tanque/fossa séptica em estação de tratamento de esgoto com reator anaeróbio de fluxo ascendente e manda te lodo (UASB).** Dissertação de mestrado. EESC-USP. São Carlos. 2008.

HACH. **Molybdonadate Method with Acid Persulfate Digestion.** 10127. Procedimento. Hexis Científica S.A. 2008a.

HACH. **Reactor Digestion Method.** 8000 Procedimento. Hexis Científica S.A. 2008b.

HEINSS, U. E.; STRAUSS, M. ***Co-treatment of Faecal Sludge and Wastewater in Tropical Climates. Management of Sludges from On-Site Sanitation***, EAWAG/SANDEC., p.13, 1999.

HELLER, L.; CHERNICHARO, C. A. L., Tratamento e disposição final dos esgotos em meio rural. In: Seminário internacional tendências no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, Belo Horizonte, **Anais**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 1996. p. 168-221.

HICKEY, R.F.; WU, W.-M.; VEIGA, M.C.; JONES, R. ***Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems***. *Water Science and Technology* v.24 n.8, 1991 p.207-255.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD, 2008**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2008/brasilpnad2008.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2009

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2009.

INGUNZA, M. P. D.; ANDRADE NETO, C. O.; ARAÚJO, A. L. C.; SOUZA, M. A. A.; MEDEIROS, S. A.; BORGES, N. B., HARTMANN, C. M., Caracterização física, química e microbiologia do lodo de fossa/tanque séptico. In: ANDREOLI, C.V (coord.). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro, ABES, 2009. p.375-383.

JENKINS S.R.; MORGAN J.M.Y.; SAWYER C.L., ***Measuring anaerobic sludge digestion and growth by simple alkalimetric titration***, *Journal of Water Pollution. Control.*, 55, (5), 1983 p.448-453.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A., **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ABES.1999.720p.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN Jr. I., Alternativas Tecnológicas. Habitação Social Sustentável: **Tratamento de esgotos sanitários em empreendimentos habitacionais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009. p. 130.

KLINGEL, F.; MONTANGERO, A.; KONÉ, D.; STRAUSS, M., ***Faecal management in developing countries – a planning manual***. EAWAG: Suíça, 2002. p.55.

KORSAK, L. ***Anaerobic Treatment of Wastewater in a UASB reactor*** *Licentiate Thesis in Chemical Engineering Department of Chemical Engineering and Technology Division of Chemical, Engineering Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden*, 2008. p.70.

KRACIK, M. E. S., **Sistema continental de tratamento de esgotos de Florianópolis**: uma contribuição para a melhoria do desempenho do complexo

de lagoas de estabilização de Potecas. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. p.130.

LEE, J.W.; PETERSON, D.L.; STICKNEY, A.R., *Anaerobic treatment of pulp and paper mill wastewaters*, TAPPI Environmental Conference, **Anais**, Seattle, Estados Unidos, 1989. p.473-496.

LEITE, B. Z.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.; ANDRADE F. L. Caracterização e Alternativas de Disposição Final de Resíduos Sépticos. In: **Simpósio Ítalo-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 8º. SIBESA. Fortaleza. 2006.

LETTINGA, G. A good life environment for all through conceptual, technological and social innovations. In: **VIII taller y simposio latinoamericano sobre digestion anaerobia**, Uruguai: IWA, 2005.

LETTINGA, G.; GRIN, P. C.; ROERSMA, R. E.; HOBMA, S. W., **High-Rate Anaerobic Waste-Water Treatment Using the UASB Reactor under a Wide Range of Temperature Conditions**. *Biotechnology and Genetic. Engineering Reviews*, 2(9),1984 p.253–284.

LETTINGA, G., HULSHOFF, L.W., **UASB-process design for various types of wastewaters**. *Water Science and Technology* v.24 n.8, 1991 p.87-107.

LÓPEZ, J.; MORGAN, J.; NOYOLA A. *Arranque de reactores anaerobios industriales dos casos de estudio*. In: **Memórias de XII Congreso de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales** (FEMISCA) Cidade do México: México 2000.

MCCARTY, P. L. **Anaerobic Waste Treatment Fundamentals**. In: *Environmental equirements and Control*. Part Two. Public Works, 123 – 126, october. 1964

MELO, J. C., **Sistema condominial: uma resposta ao desafio da universalização do saneamento**. Programa de Modernização do Setor do Saneamento. Brasília: Gráfica Qualidade. 2008. 376p.

NOYOLA, A. R.; GARBOSSA, L. H. P.; BRAGA, M. C. B.; ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, C. V. S. Digestão e higienização de lodos de estação de tratamento de esgotos através de um processo de duas fases não convencionais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte, 2007.

PAULA Jr., D. R.; MORAES, L. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; PONTES, P. P.; CASSINI, S. T.; GONÇALVES, R. F.; BELLÍ FILHO, P.; SOARES, A. M., **Estabilização anaeróbica de lodos**. In: CASSINI, S. T. (Coord.). *Digestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p.64-93.

PIEROTI, S. M., **Avaliação da partida de reator anaeróbico de fluxo ascendente em manda de lodo (UASB), em escala real, sob condições**

hidráulicas desfavoráveis. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC-USP, São Carlos, 2007.

ROCHA, C; SANT'ANNA, F.S.P., **Regulamentação para despejos de caminhões limpa-fossas na ETE Jarivatuba, Joinville-SC.** Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES – Campo Grande-MS, 2005. 7 p.

SOUZA, L.S.; CHERNICHARO, C.A.L. **Comparação de Desempenho de Um Sistema UASB / Filtro Anaeróbio Operando em Regimes Hidráulicos Transiente e Permanente.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20. Anais. Rio de Janeiro: ABES. 1999.

STRAUSS, M. E MONTANGERO, A., **F.S. Management: review of practices, problems and initiatives, Swiss Federal Institute fo Environmental Science and Technology, Department for Water and Sanitation in Developing Countries.** EAWAG, 2002.

TACHINI, M. **Avaliação de Tratamento Integrado de Esgotos Sanitários e de Lodo de Tanque Séptico em um Reator Anaeróbio RALF.** Dissertação de mestrado. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau: FURB, 2002.

TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., **Wastewater engineering treatment disposal reuse.** Metcalf & Eddy inc.. 4a.ed. Nova York: McGraw-Hill. 2003. p.1819

VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; CAVALCANTI, P. F. F.; FLORENCIO, L., **Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater, Reviews in Enviromental Science and Bio/Technology, v.5, 2006. p.21-38,**

VIEIRA, W.L.P.B.; CARVALHO, E.H. e CAMPOS, L.C. **Desempenho do reator UASB da ETE Lages – Aparecida de Goiânia em sua fase inicial de operação.** Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Campo Grande-MS. 7 p. 2005.

VON SPERLING, M., **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2ª edição. Belo Horizonte. DESA-UFMG. 1996. 243p.

XCG CONSULTANTS LTD. **Final report on alkaline stabilization and screening of septage:** Ontario field demonstration of lime stabilization, Ontario Rural Wastewater Centre - University of Guelph, p. 87, 2005

ANEXO A

Memorial de Cálculo

Cálculos Preliminares Estimativos da Vazão de Lodo Séptico em Tratamento Combinado com Esgoto Doméstico em UASB.

Cálculo 1 – Dosagem de Lodo Séptico

- Carga do Esgoto Bruto Afluyente

$$CO_{ea} = Q \cdot S_{ea}$$

Onde: CO_{ea} = carga do esgoto bruto afluyente.

Q = vazão de esgoto bruto. Adotado: 250 L h^{-1} ($6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$) ⁽¹⁾.

S_{ea} = concentração esgoto bruto afluyente aos reatores UASB.

Adotado: $280 \text{ mg DBO L}^{-1}$ ⁽²⁾.

$$CO_{ea} = 250 \text{ L h}^{-1} \cdot 280 \text{ mg DBO L}^{-1}$$

$$CO_{ea} = 70.000 \text{ mg DBO h}^{-1} = 1,68 \text{ kg d}^{-1}$$

- Carga do Efluente do Reator UASB

$$CO_e = CO_{ea} \cdot (1 - E)$$

Onde: CO_e = carga do efluente do reator UASB.

CO_{ea} = carga do esgoto bruto afluyente.

E = eficiência do tratamento. Adotado: 70% ⁽¹⁾.

$$CO_e = 1,68 \text{ kg DBO d}^{-1} \cdot (1 - 0,7)$$

$$CO_e = 0,5 \text{ kg DBO d}^{-1}$$

- Produção de Lodo Aeróbio Excedente

$$P_{\text{lodo e}} = CO_e \cdot P_{\text{lodo}}$$

Onde: $P_{\text{lodo e}}$ = produção de lodo aeróbio excedente.

P_{lodo} = produção média de lodo aeróbio em função da carga.

Adotado: 0,66 kgSST/kgDBO ⁽²⁾.

CO_e = carga do efluente do reator UASB.

$$P_{\text{lodo e}} = 0,5 \text{ kg DBO d}^{-1} \cdot 0,66 \text{ kg SST kg}^{-1} \text{ DBO}^{-1}$$

$$P_{\text{lodo e}} = 0,33 \text{ kgSST d}^{-1}$$

- Vazão de Lodo Aeróbio

$$Q_{\text{la}} = P_{\text{lodo e}} / S_{\text{lodo}}$$

Onde: Q_{la} = volume de lodo aeróbio

$$P_{\text{lodo e}} = 0,33 \text{ kg SST d}^{-1}$$

S_{lodo} = concentração de Sólidos Suspensos Totais no lodo aeróbio.

Adotado: 3 kg SST m^{-3} ⁽²⁾.

$$Q_{\text{la}} = 0,33 \text{ kg SST d}^{-1} / 3 \text{ kg SST m}^{-3}$$

$$Q_{\text{la}} = 0,11 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} = 110 \text{ L d}^{-1}$$

⁽¹⁾ Valores de projeto da estação piloto (AISSE, 2002).

⁽²⁾ Valores médios em na literatura (VON SPERLING, 2001).

⁽³⁾ Valores do hidrograma de SOUZA e CHERNICHARO (1999).

Cálculo 2 – Equiparação de Cargas de DBO para o Esgoto Bruto e Lodo Séptico.

- Carga de Lodo Séptico

$$CO_{Is} = Q_{Is} \cdot S_{Is} \cdot (DQO/DBO)$$

Onde: CO_{Is} = carga do lodo séptico.

Q_{Is} = vazão de lodo séptico. 110 L d^{-1}

S_{Is} = concentração lodo séptico afluyente aos reatores UASB.

Adotado: $0,03 \text{ kg DQO L}^{-1} \text{ (1)}$.

Relação (DQO/DBO). Adotado: $2,0 \text{ (1)}$.

$$\begin{aligned} CO_{Is} &= 110 \text{ L d}^{-1} \cdot 0,03 \text{ kg DQO L}^{-1} \cdot 2 \\ &= 1,65 \text{ kg DBO d}^{-1} \end{aligned}$$

Cálculo 3 – Estimativa pela Carga de Esgoto Bruto Afluyente a Estação.

- Carga de DBO Disponível

$$CO_{Dis} = (Q_M - Q_{Med}) \cdot S_{ea}$$

Onde: Q_M = vazão de esgoto bruto afluyente máxima. $1,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (1600 L h^{-1}) ⁽³⁾.

Q_{Med} = vazão de esgoto bruto afluyente média. $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (1000 L h^{-1}) ⁽³⁾.

CO_{Dis} = carga de DBO disponível.

S_{ea} = concentração de DBO esgoto bruto afluyente aos reatores UASB.

Adotado: $280 \text{ mg DBO L}^{-1} \text{ (2)}$.

$$CO_{Dis} = (1600 \text{ L h}^{-1} - 1000 \text{ L h}^{-1}) \cdot 280 \text{ mg DBO L}^{-1}$$

$$CO_{Dis} = 0,168 \text{ kg DBO h}^{-1} = 4032 \text{ kg DBO d}^{-1}$$

- Carga de Lodo Séptico

$$Q_{Is} = (CO_{Dis})/[S_{Is} \cdot (DQO/DBO)]$$

Onde: CO_{Dis} = carga disponível de lodo séptico.

Q_{Is} = vazão de lodo séptico.

S_{Is} = concentração esgoto bruto afluyente aos reatores UASB.

Adotado: 30 kg DQO L⁻¹ ⁽¹⁾.

Relação (DQO/DBO). Adotado: 0,5 ⁽¹⁾.

$$Q_{Is} = (4032 \text{ kg DBO d}^{-1})/[30 \text{ kg DQO L}^{-1} \cdot 0,5]$$

$$Q_{Is} = 268,8 \text{ L d}^{-1}$$

ANEXO B

Planilhas de Monitoramento de Operação e Manutenção Preventiva

Checklist

Checklist – Operação, Manutenção e Limpeza da Estação Piloto ETE Belém.

Verificação	Observação	Ação	
Bomba de Alimentação	1 - Sem vazão:	a) Verificar mangueira; b) Verificar botão de acionamento da bomba c) Verificar disjuntor de fase; d) Verificar disjuntor de tensão; e) Verificar fusíveis; f) Verificar energia da estação; g) Limpeza da Bomba.	
	2 - Com vazão parcial:	a) Verificar mangueira; b) Limpeza da Bomba.	
	3 - Com vazão plena:	a) Verificar mangueira; b) Verificar abertura do registro (1); posição aberto.	
Caixa de distribuição e UASB controle	1 - Manutenção e controle	a) Regularizar a vazão através do registro (2); b) Verificar volume de material sedimentado; c) Limpar tomadas de esgoto do UASB (controle); d) Medir a vazão do UASB (controle);	
Bomba Peristáltica 1 e UASB (1 e 2)	1 - Bomba Desligada	a) Verificar botão de acionamento b) Verificar energia na estação.	
	2- Bomba Ligada	a) Verificar Vazamentos; b) Verificar vazão de entrada nos reatores (1 e 2).	
Bomba Peristáltica 2	1 - Bomba Desligada	a) Verificar botão de acionamento b) Verificar Inversor de Frequência (2); c) Verificar energia na estação.	
	2- Bomba Ligada	a) Verificar Vazamentos; b) Verificar vazão de entrada nos reatores (1 e 2).	
Tanques de Armazenamento	1 – Misturador Grande	a) Verificar volume do tanque; b) Verificar mistura do tanque;	
	2- Misturador Pequeno	a) Verificar volume do tanque; b) Verificar mistura do tanque; c) Verificar vazão de entrada no tanque.	
Cronograma de Limpeza			
Bomba de Alimentação	2x Semana	Bomba Peristáltica	1x Semana

Caixa de distribuição	2x Semana	Tanques de Armazenamento e Adensador	a cada descarte
UABS	1x Mês	Orifícios de Esgoto Bruto	1 a 2 x ao dia

Relatório Diário

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BASICO – PROSAB V
Projeto: Lodo de Fossa Séptica
Manutenção e Operação da Instalação Experimental – ETE Belém

Operadores: _____

Hora: : . Data / / . Dia da Semana: Seg Ter Qua Qui Sex Sab Dom

Tempo (24h): Bom Nublado Chuva Temperatura °C: Min: Max:

Vazão Afluente à ETE Belém: m³/s Paralisações da ETE (24h): h.

<p style="text-align: center; border: 1px solid black; margin-bottom: 5px;">BOMBA DE ALIMENTAÇÃO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><input type="checkbox"/> Ligada → Vazão Total <input type="checkbox"/></p> <p> → Vazão Parcial →</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>→ Obstrução <input type="checkbox"/></p> <p>→ Rompimento de Mangueira <input type="checkbox"/></p> <p>→ Outros <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>→ Obstrução <input type="checkbox"/></p> <p>→ Rompimento de Mangueira <input type="checkbox"/></p> <p>→ Outros <input type="checkbox"/></p> </div> </div> <p>→ Nenhuma Vazão →</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>→ Obstrução <input type="checkbox"/></p> <p>→ Rompimento de Mangueira <input type="checkbox"/></p> <p>→ Outros <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>→ Obstrução <input type="checkbox"/></p> <p>→ Rompimento de Mangueira <input type="checkbox"/></p> <p>→ Outros <input type="checkbox"/></p> </div> </div> </div> <div style="width: 45%;"> <p><input type="checkbox"/> Desligada →</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>→ Quadro <input type="checkbox"/></p> <p>→ Falta de Energia na Estação <input type="checkbox"/></p> <p>→ Queima Fusível <input type="checkbox"/></p> <p>→ Relés <input type="checkbox"/></p> <p>→ Outros <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>→ Quadro <input type="checkbox"/></p> <p>→ Falta de Energia na Estação <input type="checkbox"/></p> <p>→ Queima Fusível <input type="checkbox"/></p> <p>→ Relés <input type="checkbox"/></p> <p>→ Outros <input type="checkbox"/></p> </div> </div> </div> </div>

RESERVATORIO ELEVADO

☐ Reservatório

ANEXO C

Gráficos de Dispersão e Correlação R^2 da Caracterização do Lodo Séptico Utilizado no Sistema Piloto

Correlação DQO x ST

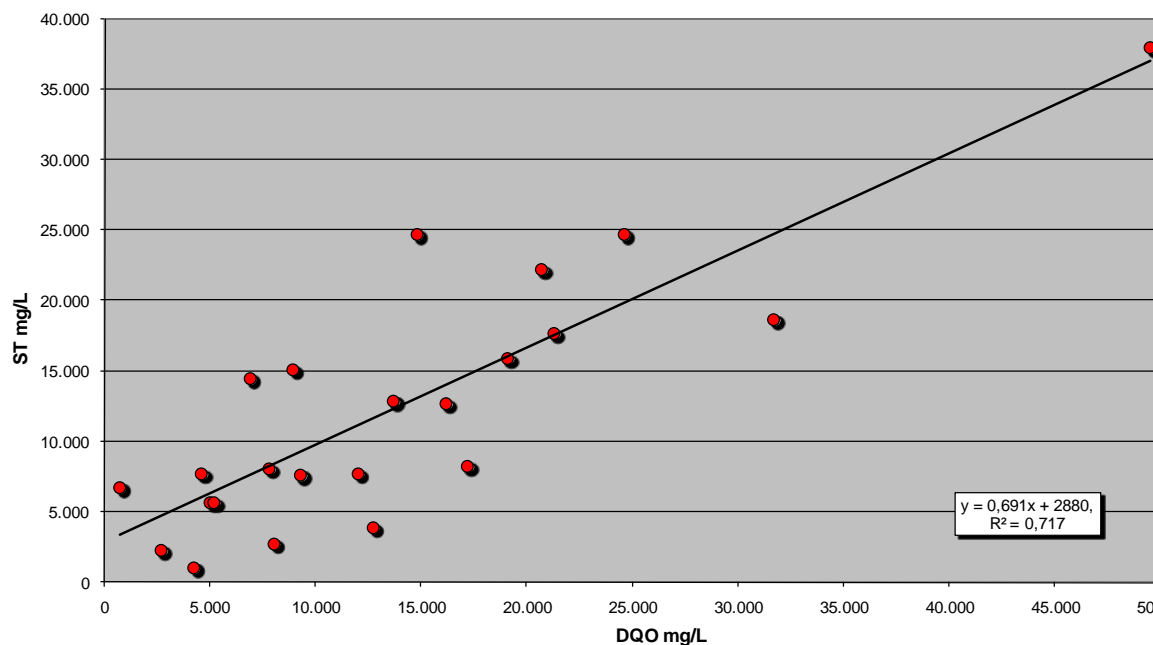


Figura 1 - Correlação entre DQO e ST da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

Correlação DBO x ST

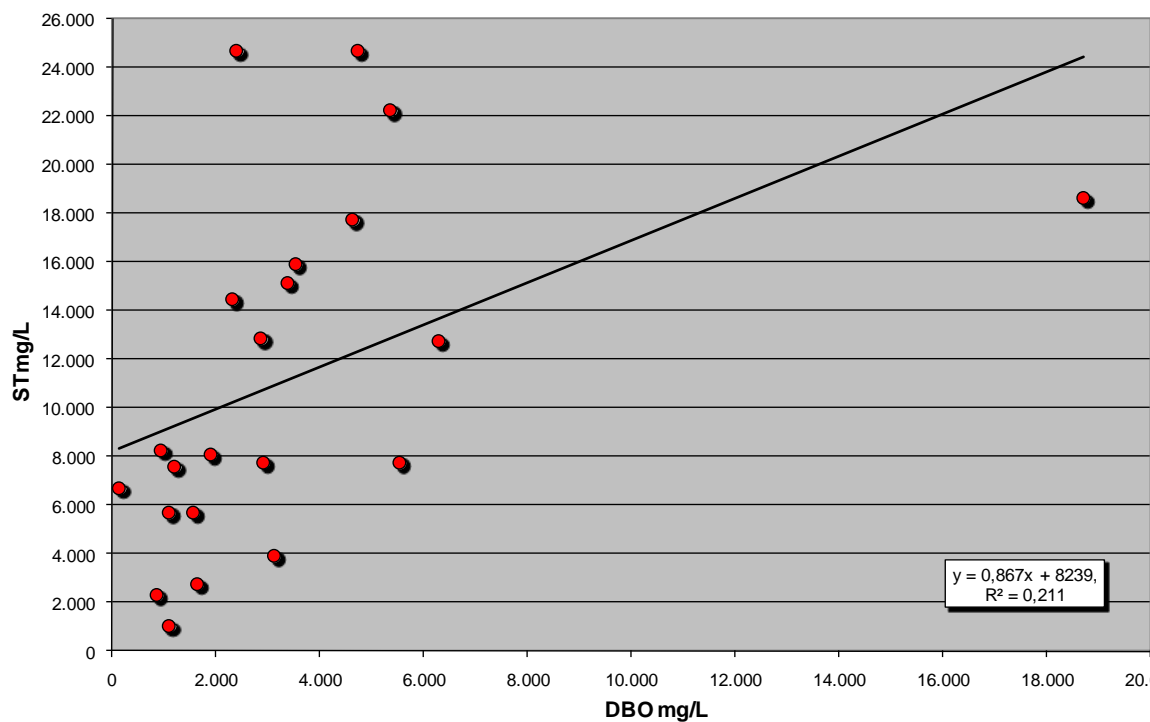


Figura 2 - Correlação entre DBO e ST da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

Correlação DQO x STV

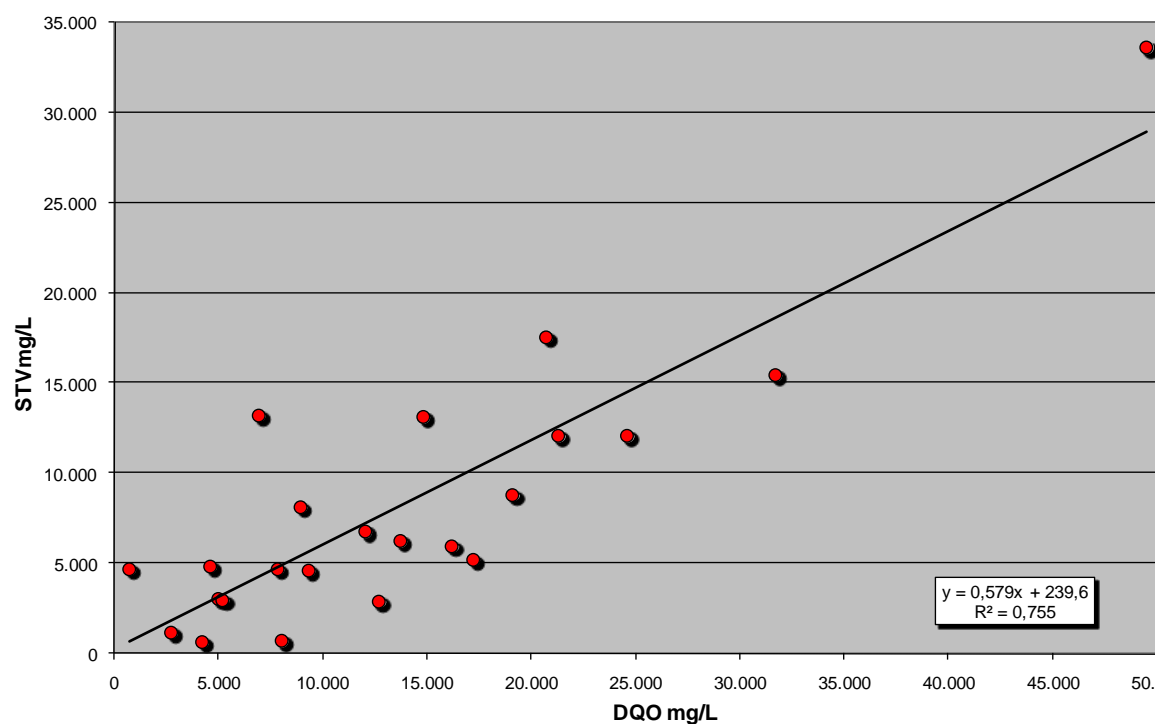


Figura 3 - Correlação entre DQO e STV da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

Correlação DBO x STV

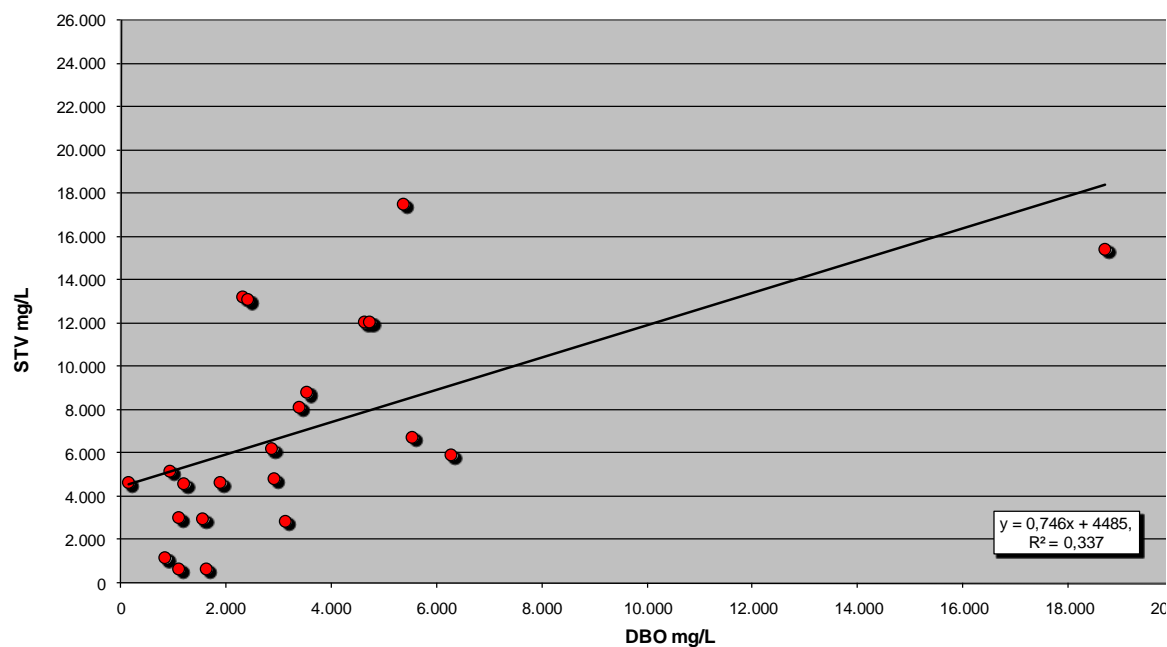


Figura 4 - Correlação entre DBO e STV da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

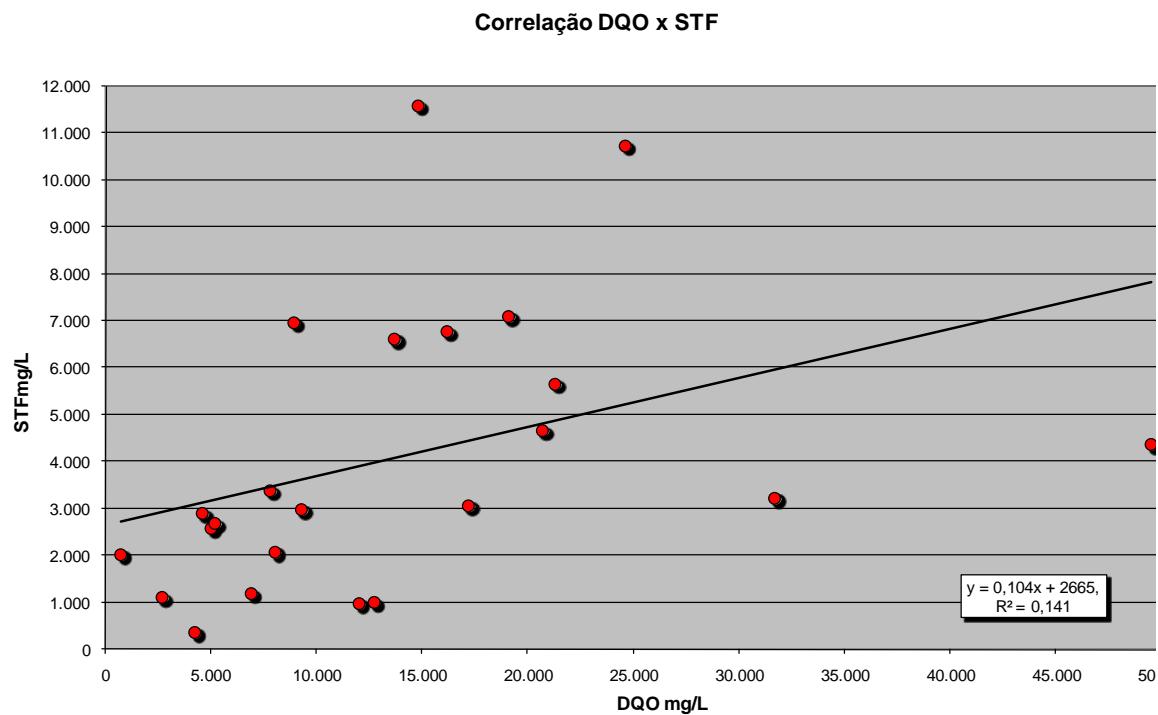


Figura 5 - Correlação entre DQO e STF da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

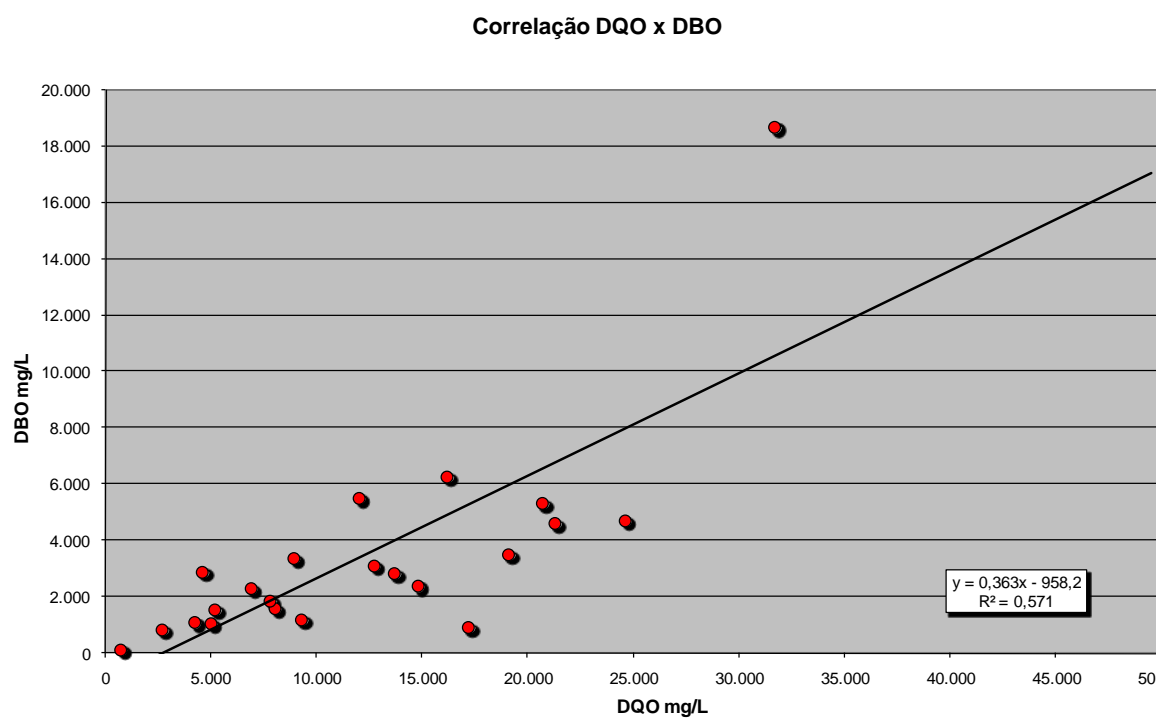


Figura 6 - Correlação entre DQO e DBO da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

Correlação DQO x Sólidos Sedimentáveis

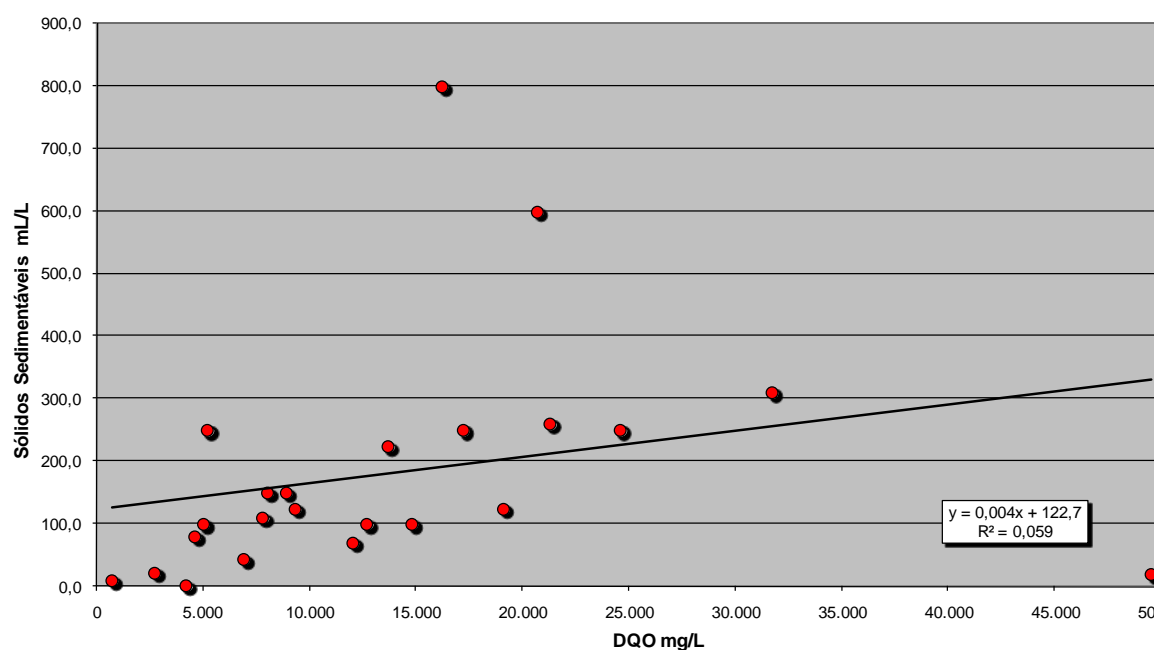


Figura 7 - Correlação entre DQO e Sólidos Sedimentáveis da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

Correlação DBO x Sólidos Sedimentáveis

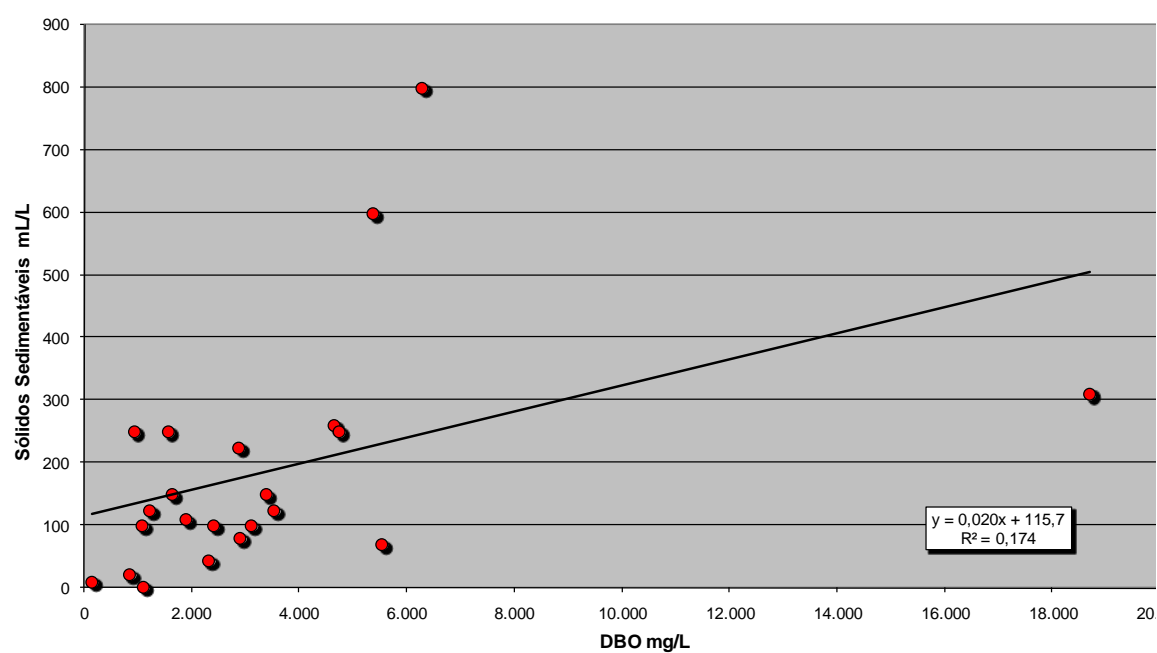


Figura 8 - Correlação entre DBO e Sólidos Sedimentáveis da caracterização do lodo séptico utilizado no sistema

ANEXO D

Caminhão Limpa Fossa	Data	Período	DBO	DQO	Sólidos Sedimentáveis	Sólidos Suspensos Totais	Sólidos Suspensos Fixos	Sólidos Sus Voláteis
			mg/L	mg/L	ml/L	mg/l	mg/l	mg/l
LFe 1	18/09/08	Manhã	930	17.200	250,0	3.167	1.233	1.934
LFe 2	24/09/08	Manhã	3.111	12.700	100,0	2.967	525	2.442
LFe 3	10/10/08	Manhã	6.280	16.200	800,0	6.800	2.750	4.050
LFe 4	16/10/08	Manhã	2.868	13.700	225,0	****	****	****
LFe 5	21/10/08	Tarde	18.696	31.700	310,0	****	****	****
LFe 6	27/10/08	Manhã	3.378	8.900	150,0	****	****	****
LFe 7	11/11/08	Manhã	3.530	19.100	125,0	****	****	****
LFe 8	18/11/08	Manhã	1.099	4.200	2,0	566	66	500
LFe 9	25/11/08	Tarde	137	700	10,0	2.375	1.820	555
LFe 10	02/12/08	Tarde	1.624	8.000	150,0	****	****	****
LFe 11	08/12/08	Tarde	1.892	7.800	110,0	****	****	****
LFe 12	09/12/08	Manhã	5.532	12.000	70,0	7.383	758	6.625
LFe 13	09/12/08	Manhã	845	2.700	22,0	1.618	537	1.081
LFe 14	14/12/08	Tarde	1.202	9.300	125,0	6.130	2.323	3.807
LFe 15	05/01/09	Tarde	5.358	20.700	600,0	19.033	3.767	15.266
LFe 16	05/01/09	Tarde	1.085	5.000	100,0	4.783	2.091	2.692
LFe 17	12/01/09	Manhã	2.901	4.600	80,0	5.300	2.420	2.880
LFe 18	12/01/09	Manhã	2.316	6.900	45,0	****	****	****
LFe 19	13/01/09	Manhã	****	49.500	20,0	****	****	****
LFe 20	26/01/09	Manhã	2.396	14.800	100,0	****	****	****
LFe 21	26/01/09	Manhã	1.559	5.200	250,0	****	****	****
LFe 22	27/01/09	Manhã	4.635	21.300	260,0	****	****	****
LFe 23	17/02/09	Manhã	4.728	24.600	250,0	19.750	9.252	10.498
Máximo			18.696	49.500	800,0	19.750	9.252	15.266
Mínimo			137	700	2,0	566	66	500,0
Mediana			2.632,0	12.000,0	125,0	5.041,5	1.955,5	2.786,0
Percentil 25%			1.291,3	6.050,0	75,0	2.819,0	702,8	1.720,0
Percentil 75%			4.358,8	18.150,0	250,0	6.945,8	2.502,5	4.693,0
Desvio Padrão			3.806,3	10.976,8	188,8	6.305,8	2.444,6	4439,6

Quadro 1 – Resultados da caracterização do lodo séptico aplicado no sistema piloto

ANEXO E

Operação 1

Coleta	Data	Hora	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
			°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/l	mg/l	mg/l
1	16/05/08	8:30	20,3	****	****	190	651	13,8	7,0	13,0	400	208	192
2	28/05/08	8:30	22,6	****	****	300	583		7,0	28,0	400	208	192
3	03/06/08	9:00	19,3	****	****	120	528		7,1	8,0	400	208	192
4	10/06/08	9:00	20,7	****	****	140	293	10,0	7,6	1,7	476	296	180
5	17/06/08	8:30	18,6	****	****	200	294	11,7	7,0	4,5	508	232	276
6	24/06/08	8:30	18,3	32,0	151,8	270	542	25,0	7,3	7,0	508	232	276
7	01/07/08	8:30	19,3	26,0	171,2	280	516	19,2	7,2	5,0	****	****	****
8	08/07/08	9:00	20,1	38,5	172,6	235	394	16,5	7,2	0,5	512	284	228
9	15/07/08	8:30	20,2	28,4	216,6	540	998	38,5	7,2	15,0	1108	512	596
10	24/07/08	7:55	20,3	****	****	****	664	****	7,1	8,5	****	****	****
11	31/07/08	9:00	19,8	31,9	****	270	449	18,4	6,9	2,5	****	****	****
12	07/08/08	9:10	20,4	****	****	270	421	14,8	7,4	10,0	572	292	280
13	13/08/08	9:00	17,6	61,7	****	290	479	7,9	7,2	13,0	632	308	324
14	19/08/08	9:30	23,0	****	****	380	537	30,4	7,4	86,0	****	****	****
15	26/08/08	10:40	21,9	40,4	216,2	****	491	23,9	7,7	5,5	****	****	****
16	01/09/08	8:30	21,1	22,2	180,0	380	584	25,3	7,2	8,5	492	252	240
17	09/09/08	8:45	18,7	24,6	151,6	330	511	6,1	7,3	7,0	516	224	292
18	16/09/08	9:00	20,0	25,4	162,4	430	664	8,2	7,0	7,5	784	356	428
19	23/09/08	8:20	19,2	****	****	310	585	****	7,1	4,0	****	****	****
Máximo			22,6	52,4	216,5	452	697	32,8	7,6	33,8	914	418	495
Mínimo			18,2	23,2	151,7	136	294	7,4	7,0	1,6	400	208	187
Mediana			20,1	28,4	171,9	280	528	16,5	7,2	7,5	508	252	276
Média			20,1	32,3	177,8	290	536	18,0	7,2	12,4	562	278	284
Percentil 25%			19,3	25,4	159,8	235	464	10,9	7,1	4,8	476	224	192
Percentil 75%			20,6	32,0	189,1	330	584	24,5	7,3	11,5	572	296	292
Desvio Padrão			1,4	12,1	25,8	104	155	9,2	0,2	18,8	194	84	116

QUADRO 1 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO BRUTO AFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1, T2 E T3

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
				°C	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/l	mg/l	mg/l
1	16/05/08	T1	9:40	19,0	****	14,0	104,4	91	220	12,5	7,00	2,5	312	169	140
2	28/05/08	T1	11:00	23,0	****	36,1	15,0	83	140	11,8	6,79	0,1	391	266	170
3	03/06/08	T1	11:00	19,0	****	102,8	236,4	131	180	13,6	6,88	0,1	338	317	200
4	10/06/08	T1	10:30	18,0	****	70,2	90,0	120	350	16,5	7,30	0,7	365	246	170
5	17/06/08	T1	10:30	14,0	****	35,0	122,4	82	210	9,2	6,98	1,7	255	140	170
6	24/06/08	T1	10:00	16,0	****	68,6	180,4	116	210	15,1	6,92	1,5	332	186	170
7	01/07/08	T1	10:00	21,0	****	48,5	187,8	86	110	8,4	6,93	0,9	296	192	170
8	08/07/08	T1	9:30	19,5	****	45,7	198,6	130	260	15,7	7,44	1,2	290	136	170
9	15/07/08	T1	9:30	20,0	****	115,0	256,4	117	320	14,1	7,43	0,1	858	234	670
10	24/07/08	T1	11:00	19,0	****	130,8	326,4	157	270	21,9	7,04	<0,1	446	288	170
11	31/07/08	T1	10:00	20,0	21,3	71,4	191,0	103	280	11,7	7,04	<0,1	378	192	170
12	07/08/08	T1	11:00	19,0	18,1	99,6	203,8	121	210	17,1	6,78	0,2	282	280	200
13	13/08/08	T1	16:00	25,0	20,3	117,9	192,4	74	230	11,8	6,89	0,1	****	****	****
14	19/08/08	T1	10:00	24,9	24,0	167,7	201,6	34	90	8,8	7,00	0,1	248	174	70
15	26/08/08	T1	10:00	25,0	24,4	102,5	233,8	61	240	16,9	6,76	0,2	298	182	170
16	01/09/08	T1	11:00	22,1	22,2	80,4	200,6	****	150	16,2	6,84	<0,1	296	190	170
17	09/09/08	T1	10:00	23,8	24,3	31,9	233,8	****	80	5,1	6,75	<0,1	362	250	170
18	16/09/08	T1	11:00	18,6	18,7	55,7	206,2	89	190	4,9	6,82	1,2	332	224	170
19	23/09/08	T1	11:45	20,1	20,0	64,2	191,0	86	90	4,7	6,82	0,7	254	160	90
Máximo				25,0	24,4	134,5	263,4	136	323	17,6	7,4	1,9	508	292	270
Mínimo				15,8	18,3	30,1	82,5	56	89	4,9	6,8	0,1	253	139	170
Mediana				20,0	21,3	70,2	198,6	91	210	12,5	6,9	0,7	322	192	170
Média				20,4	21,5	76,7	188,0	99	202	12,4	7,0	0,8	352	213	170
Percentil 25%				20,0	20,0	47,1	184,1	83	145	9,0	6,8	0,1	292	176	170
Percentil 75%				22,6	24,0	102,7	220,0	120	250	16,0	7,0	1,2	364	249	170
Desvio Padrão				3,0	2,4	39,5	67,6	30	78	4,7	0,2	0,7	137	53	170

QUADRO 2 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	S ²	
				°C		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	
1	16/05/08	T2	9:40	19,0	****	24,9	111,0	86	1330	13,2	6,90	2,6	311	176	11	
2	28/05/08	T2	11:00	23,0	****	76,4	17,0	80	190	17,2	6,76	0,2	404	263	11	
3	03/06/08	T2	11:00	19,0	****	56,6	193,6	94	280	11,8	7,00	0,5	288	284	11	
4	10/06/08	T2	10:30	18,0	****	45,6	177,8	87	280	16,4	7,32	1,5	307	186	11	
5	17/06/08	T2	10:30	14,0	****	24,1	89,4	63	150	6,6	7,00	1,1	222	129	9	
6	24/06/08	T2	10:00	16,0	****	63,5	166,6	97	210	12,7	6,91	0,7	324	208	11	
7	01/07/08	T2	10:00	21,0	****	60,2	173,8	86	130	8,5	6,89	1,4	326	194	11	
8	08/07/08	T2	9:30	19,5	****	52,5	183,0	124	370	13,0	7,24	0,6	292	142	11	
9	15/07/08	T2	9:30	20,0	****	139,6	252,2	105	300	13,4	7,28	0,2	704	212	41	
10	24/07/08	T2	11:00	19,0	****	141,8	295,0	99	210	7,1	7,06	<0,1	390	176	21	
11	31/07/08	T2	10:00	20,0	21,4	49,6	186,2	102	230	11,1	7,05	0,1	384	188	11	
12	07/08/08	T2	11:00	19,0	17,7	110,6	214,6	109	170	18,4	6,78	<0,1	326	314	11	
13	13/08/08	T2	16:00	25,0	20,3	98,7	215,6	100	410	22,3	7,15	2,0	****	****	**	
14	19/08/08	T2	10:00	24,9	24,0	87,2	144,8	39	130	6,9	7,24	<0,1	270	162	11	
15	26/08/08	T2	10:00	25,0	24,2	95,5	200,4	51	280	15,6	6,74	0,4	260	150	11	
16	01/09/08	T2	11:00	22,1	21,7	83,2	209,4	95	120	15,0	6,82	<0,1	264	172	9	
17	09/09/08	T2	10:00	23,8	23,5	40,7	220,4	72	190	5,5	6,73	0,1	360	198	11	
18	16/09/08	T2	11:00	18,7	18,7	49,0	191,2	76	170	3,9	6,85	0,1	280	174	11	
19	23/09/08	Tanque 2	11:45	20,1	19,9	55,3	182,6	<1	80	4,5	6,84	0,6	274	194	8	
				Máximo	25,0	24,1	139,8	256,5	111	502	18,8	7,3	2,2	449	289	21
				Mínimo	15,8	18,1	24,8	82,2	49	116	4,4	6,7	0,1	254	140	1
				Mediana	20,0	21,4	60,2	186,2	91	210	12,7	6,9	0,6	309	187	11
				Média	20,4	21,3	71,3	180,2	87	275	11,7	7,0	0,8	333	196	11
				Percentil 25%	19,0	19,9	49,3	170,2	77	160	7,0	6,8	0,2	276	173	9
				Percentil 75%	22,6	23,5	91,4	212,0	100	280	15,3	7,1	1,3	352	206	11
				Desvio Padrão	3,0	2,3	34,1	60,2	21	270	5,1	0,2	0,8	105	48	11

QUADRO 3 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T2

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	S ²	
				°C		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	
1	16/05/08	T3	9:40	19,0	****	39,0	97,4	164	290	73,2	7,01	31,0	1175	489	61	
2	28/05/08	T3	11:00	23,0	****	30,0	16,8	54	170	18,4	7,00	0,1	402	272	11	
3	03/06/08	T3	11:00	19,0	****	53,5	216,2	58	230	10,1	7,08	0,1	289	277	11	
4	10/06/08	T3	10:30	18,0	****	34,0	190,0	51	410	13,8	7,47	0,1	306	194	11	
5	17/06/08	T3	10:30	14,0	****	26,7	136,8	42	70	5,2	7,10	0,1	192	121	7	
6	24/06/08	T3	10:00	16,0	****	47,5	155,8	83	220	12,6	7,05	0,4	314	200	11	
7	01/07/08	T3	10:00	21,0	****	39,2	166,2	41	200	7,8	7,18	0,3	336	230	11	
8	08/07/08	T3	9:30	19,5	****	76,2	167,0	132	400	14,0	7,38	0,7	324	158	11	
9	15/07/08	T3	9:30	20,0	****	126,3	263,8	111	320	15,0	7,11	1,2	658	226	41	
10	24/07/08	T3	11:00	19,0	****	96,1	261,6	66	190	12,5	7,36	0,1	376	170	21	
11	31/07/08	T3	10:00	20,0	21,4	49,2	173,6	88	250	12,9	7,07	0,3	402	224	11	
12	07/08/08	T3	11:00	19,0	17,7	71,4	209,0	75	170	17,6	7,03	<0,1	302	302	11	
13	13/08/08	T3	16:00	25,0	20,3	85,8	204,0	61	350	15,7	7,21	1,6	****	****	**	
14	19/08/08	T3	10:00	24,9	23,9	136,4	198,2	28	160	8,1	7,09	<0,1	226	156	7	
15	26/08/08	T3	10:00	25,0	24,2	88,4	182,4	75	180	16,5	6,75	1,3	306	158	11	
16	01/09/08	T3	11:00	22,1	21,7	66,4	209,0	<1	40	15,5	6,9	<0,1	264,0	174	9	
17	09/09/08	T3	10:00	23,8	24,1	40,2	224,4	71	130	5,7	6,73	0,2	376	218	11	
18	16/09/08	T3	11:00	18,7	18,7	44,7	181,4	89	250	4,0	6,91	0,8	284	194	9	
19	23/09/08	T3	11:45	20,1	19,9	43,8	179,4	102	200	5,7	6,86	2,5	280	180	11	
				Máximo	25,0	24,2	127,3	261,8	137	401	23,9	7,4	9,6	736	330	41
				Mínimo	15,8	18,1	29,7	89,3	39	67	5,1	6,7	0,1	221	151	1
				Mediana	20,0	21,4	49,2	182,4	73	200	12,9	7,1	0,4	310	197	11
				Média	20,4	21,3	62,9	180,7	77	223	15,0	7,1	2,6	378	219	11
				Percentil 25%	19,0	19,9	39,7	166,6	55	170	8,0	7,0	0,1	285	171	9
				Percentil 75%	22,6	23,9	81,0	209,0	89	270	15,6	7,1	1,2	376	229	11
				Desvio Padrão	3,0	2,4	31,7	55,8	34	99	14,8	0,2	7,6	222	82	11

QUADRO 4 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T3

UASB + Lodo Dose 1

Coleta	Data	Hora	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
			°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/l	mg/l	mg/l
1	07/10/08	8:10	20,0	30,0	128,0	370	639	12,8	7,04	16,0	652	212	440
2	14/10/08	9:00	21,7	14,2	204,6	600	881	9,5	6,83	17,0	800	380	420
3	21/10/08	9:00	20,6	28,3	144,0	****	395	18,9	6,73	13,0	454	226	228
4	27/10/08	8:30	23,3	47,5	130,2	327	520	7,8	7,10	13,0	462	210	252
5	04/11/08	09:00	22,5	50,5	131,6	380	727	6,0	6,72	13,5	584	210	374
6	11/11/08	09:00	22,8	41,2	140,8	350	489	7,6	7,34	8,5	620	296	324
7	18/11/08	8:30	21,4	42,7	165,2	314	570	6,1	7,14	11,0	540	240	300
8	25/11/08	09:00	21,8	52,2	197,2	440	743	9,4	7,16	11,0	668	338	330
9	01/12/08	8:30	23,9	68,9	195,0	390	578	8,8	7,33	12,0	596	256	340
10	15/12/08	09:00	22,7	80,4	173,4	****	664	6,0	7,09	8,0	512	232	280
11	19/12/08	8:30	23,1	104,5	154,8	337	590	6,6	7,11	7,5	618	252	366
Máximo			23,6	92,5	200,9	536,0	812,1	15,9	7,3	16,5	734,0	359,0	430,0
Mínimo			20,3	21,3	129,1	319,0	441,9	6,0	6,7	7,8	458,0	210,0	240,0
Mediana			22,5	47,5	154,8	370	590	7,8	7,1	12	596	240	330
Média			22,2	50,9	160,4	390	618	9,0	7,1	11,9	591	259	332
Percentil 25%			21,6	35,6	136,2	337	545	6,4	6,9	9,8	526	219	290
Percentil 75%			23,0	60,6	184,2	390	696	9,5	7,2	13,3	636	276	370
Desvio Padrão			1,2	25,6	28,6	88	134	3,9	0,2	3,1	100	56	66

QUADRO 5 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO BRUTO AFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1, T2 E T3

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
				°C	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/l	mg/l	mg/l
1	07/10/08	T1	11:30	23,1	21,4	30,0	155,0	44	130	2,1	6,89	<0,1	256	194	194
2	14/10/08	T1	16:00	28,3	27,2	73,9	217,2	98	290	****	6,49	4,5	394	224	224
3	21/10/08	T1	15:30	25,8	25,0	18,6	172,4	66	120	3,2	7,38	0,3	278	180	180
4	27/10/08	T1	10:00	26,4	27,5	120,9	246,0	****	80	4,6	6,96	<0,1	266	190	190
5	04/11/08	T1	15:00	25,0	24,0	67,6	180,6	42	240	2,0	7,08	<0,1	260	144	144
6	11/11/08	T1	10:00	23,0	22,1	50,7	144,6	****	50	2,1	6,99	0,1	198	94	94
7	18/11/08	T1	15:30	21,6	22,7	100,8	195,2	****	60	2,7	6,72	<0,1	292	186	186
8	25/11/08	T1	15:30	22,3	22,6	63,3	200,4	30	90	2,7	6,85	<0,1	288	258	258
9	01/12/08	T1	15:30	24,2	24,8	123,2	226,6	****	60	4,2	6,75	0,8	284	168	168
10	15/12/08	T1	10:30	22,6	22,4	182,1	221,6	84	240	3,3	6,97	0,3	382	202	202
11	19/12/08	T1	10:30	22,6	21,5	253,7	260,8	62	80	1,9	6,80	0,1	300	182	182
Máximo				27,4	27,4	217,9	253,4	94	265	4,4	7,2	3,6	388	241	241
Mínimo				22,0	21,5	24,3	149,8	34	55	1,9	6,6	0,1	227	119	119
Mediana				23,1	22,7	73,9	200,4	62	90	2,7	6,9	0,3	284	186	186
Média				24,1	23,7	98,6	201,9	61	131	2,9	6,9	1,0	291	184	184
Percentil 25%				22,6	22,3	57,0	176,5	43	70	2,1	6,8	0,2	263	174	174
Percentil 75%				25,4	24,9	122,1	224,1	75	185	3,3	7,0	0,7	296	198	198
Desvio Padrão				2,1	2,2	69,5	36,7	24	85	0,9	0,2	1,7	55	42	42

QUADRO 6 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	STV
				°C	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	07/10/08	T2	11:30	23,1	21,5	34,0	151,8	43	400	2,1	6,90	<0,1	240	170	170
2	14/10/08	T2	16:00	28,3	26,7	68,3	214,4	91	250	****	6,56	1,3	360	214	214
3	21/10/08	T2	15:30	25,8	24,7	46,7	175,6	80	80	3,2	7,06	0,2	300	206	206
4	27/10/08	T2	10:00	26,4	26,9	108,4	224,4	****	60	4,0	6,81	<0,1	238	176	176
5	04/11/08	T2	15:00	25,0	24,5	32,8	151,0	69	220	1,9	7,07	<0,1	274	148	148
6	11/11/08	T2	10:00	23,0	21,9	60,6	163,4	29	120	2,8	7,00	0,1	194	104	104
7	18/11/08	T2	15:30	21,6	22,8	80,9	191,6	63	140	3,1	6,70	0,2	326	172	172
8	25/11/08	T2	15:30	22,3	22,6	60,8	207,2	47	100	2,3	6,84	<0,1	286	256	256
9	01/12/08	T2	15:30	24,2	24,8	104,2	217,8	64	80	3,5	6,77	0,5	312	196	196
10	15/12/08	T2	15:30	22,6	22,3	173,8	220,2	79	220	3,5	6,88	<0,1	390	234	234
11	19/12/08	T2	10:30	22,6	21,6	245,6	267,0	122	190	2,5	6,76	0,1	338	184	184
Máximo				27,4	26,8	209,7	245,7	108	325	3,8	7,1	1,1	375	245	245
Mínimo				22,0	21,6	33,4	151,4	35	70	2,0	6,6	0,1	216	126	126
Mediana				23,1	22,8	68,3	207,2	67	140	3,0	6,8	0,2	300	184	184
Média				24,1	23,7	92,4	198,6	69	169	2,9	6,9	0,4	296	187	187
Percentil 25%				22,6	22,1	53,7	169,5	51	90	2,4	6,8	0,1	257	171	171
Percentil 75%				25,4	24,8	106,3	219,0	80	220	3,4	7,0	0,4	332	210	210
Desvio Padrão				2,1	2,0	65,0	35,7	27	101	0,7	0,2	0,5	58	41	41

QUADRO 7 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T2

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	S	
				°C		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		m/L	mg/L	mg/L	n	
1	07/10/08	T3	11:30	23,1	21,6	18,0	156,6	55	130	3,4	6,96	1,4	304	194		
2	14/10/08	T3	16:00	28,3	26,6	60,8	205,8	98	320	****	6,56	1,3	360	196		
3	21/10/08	T3	15:30	25,8	24,7	50,7	169,4	74	140	3,2	7,03	0,5	286	182		
4	27/10/08	T3	10:00	26,4	26,5	91,9	184,2	67	150	3,6	6,79	<0,1	220	148		
5	04/11/08	T3	15:00	23,0	23,2	44,7	133,2	57	190	2,8	7,15	0,2	312	168		
6	11/11/08	T3	10:00	23,0	21,5	67,2	156,4	6	60	1,6	6,94	<0,1	146	86		
7	18/11/08	T3	15:30	21,6	22,4	90,0	204,0	72	220	3,7	6,77	1,5	340	184		
8	25/11/08	T3	15:30	22,3	22,3	47,1	194,4	43	90	2,0	6,87	<0,1	266	214		
9	01/12/08	T3	15:30	24,2	24,5	101,4	203,8	54	70	2,7	6,76	<0,1	280	182		
10	15/12/08	T3	10:30	22,6	22,3	164,2	199,2	56	260	2,5	6,89	0,2	262	198		
11	19/12/08	T3	10:30	22,6	21,7	258,3	250,6	58	70	2,3	6,81	0,1	312	300		
				Máximo	27,4	26,6	211,3	228,2	86	290	3,7	7,1	1,5	350	257	
				Mínimo	22,0	21,6	31,4	144,8	25	65	1,8	6,7	0,1	183	117	
				Mediana	23,0	22,4	67,2	194,4	57	140	2,8	6,9	0,5	286	184	
				Média	23,9	23,4	90,4	187,1	58	155	2,8	6,9	0,7	281	187	
				Percentil 25%	22,6	22,0	48,9	163,0	55	80	2,4	6,8	0,2	264	175	
				Percentil 75%	25,0	24,6	96,7	203,9	70	205	3,4	7,0	1,4	312	197	
				Desvio Padrão	2,1	1,9	67,8	32,0	23	85	0,7	0,2	0,6	59	51	

QUADRO 8 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T3 (BRANCO)

Operação 2

Coleta	Data	Hora	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF	S
			°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/l	mg/l	
1	05/01/09	08:30	21,7	79,8	123,6	220	446	4,3	7,24	12,0	186	81	
2	13/01/09	09:00	26,0	92,4	120,0	100	182	1,2	7,06	3,0	292	176	
3	19/01/09	08:30	24,6	30,0	77,6	75	156	<0,1	7,00	1,2	164	40	
4	10/02/09	10:00	24,5	31,1	129,6	270	450	2,1	6,95	1,5	606	292	
5	17/02/09	08:45	24,0	35,3	86,4	90	187	****	6,97	4,5	254	134	
6	03/03/09	09:00	25,9	48,5	145,6	860	1006	6,6	6,64	9,5	544	220	
7	10/03/09	09:00	24,7	73,5	151,2	760	1387	11,5	7,02	20,0	1580	348	1
8	12/03/09	08:15	24,6	118,4	42,2	872	1091	5,9	7,18	11,0	1038	280	
Máximo			26,0	109,3	149,2	868	1283	10,3	7,2	17,2	1390	328	1
Mínimo			22,5	30,4	54,6	80	165	1,4	6,7	1,3	172	54	
Mediana			24,6	61,0	121,8	245	448	5,1	7,0	7,0	418	198	
Média			24,5	63,6	109,5	406	613	5,3	7,0	7,8	583	196	
Percentil 25%			24,4	34,3	84,2	98	186	2,7	7,0	2,6	237	121	
Percentil 75%			25,0	83,0	133,6	785	1027	6,4	7,1	11,3	714	283	
Desvio Padrão			1,3	32,5	37,5	360	480	3,7	0,2	6,5	497	108	

QUADRO 9 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO BRUTO AFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1, T2 E T3

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	S
1	05/01/09	T1	17:00	24,7	24,1	229,8	176,2	41	90	2,6	6,82	<0,1	87	53	1
2	13/01/09	T1	10:30	28,7	28,3	306,6	182,0	46	130	2,9	6,94	0,7	294	220	1
3	19/01/09	T1	10:30	24,7	21,1	52,9	130,0	8	<10	0,8	6,88	<0,1	178	4	1
4	10/02/09	T1	10:30	26,0	25,4	109,8	182,2	59	140	2,9	6,88	<0,1	296	242	1
5	17/02/09	T1	11:30	26,0	26,1	70,0	159,4	32	240	1,2	6,87	<0,1	228	174	1
6	03/03/09	T1	10:30	31,5	29,6	122,4	199,8	23	****	2,9	6,91	<0,1	292	178	1
7	10/03/09	T1	09:00	26,9	28,3	80,7	225,0	****	119	3,8	7,20	0,1	322	208	1
8	12/03/09	T1	09:30	25,1	22,9	66,5	262,6	77	179	3,4	7,25	<0,1	366	318	1
			Máximo	30,5	29,1	279,7	249,4	72	225	3,7	7,2	0,7	351	291	1
			Mínimo	24,7	21,7	57,7	140,3	13	97	0,9	6,8	0,1	119	21	1
			Mediana	26,0	25,8	95,3	182,1	41	135	2,9	6,9	0,4	293	193	1
			Média	26,7	25,7	129,8	189,7	41	150	2,6	7,0	0,4	258	175	1
			Percentil 25%	25,0	23,8	69,1	172,0	28	122	2,3	6,9	0,3	216	144	1
			Percentil 75%	27,4	28,3	149,3	206,1	53	169	3,0	7,0	0,6	303	226	1
			Desvio Padrão	2,3	2,9	90,7	40,4	23	53	1,0	0,2	0,4	90	102	1

QUADRO 10 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	S
1	05/01/09	T2	17:00	24,7	24,0	221,4	182,4	43	140	2,4	6,92	<0,1	130	93	1
2	13/01/09	T2							****						1
3	19/01/09	T2	10:30	24,7	22,0	46,5	134,2	5	30	0,9	6,88	<0,1	172	44	1
4	10/02/09	T2	10:30	26,0	25,2	99,8	172,2	38	150	2,5	6,79	<0,1	246	192	1
5	17/02/09	T2	11:30	26,0	25,9	99,3	162,4	52	190	2,4	6,85	<0,1	256	192	1
6	03/03/09	T2	10:30	31,5	29,5	173,3	229,0	30	****	2,8	6,70	<0,1	280	172	1
7	10/03/09	T2	09:00	26,9	28,0	79,8	203,0	****	127	3,8	7,08	0,3	314	214	1
8	12/03/09	T2	09:30	25,1	23,5	63,6	222,6	67	160	3,0	7,18	<0,1	322	180	1
			Máximo	30,1	29,1	207,0	227,1	63	183	3,6	7,2	0,3	320	207	1
			Mínimo	24,7	22,5	51,6	142,7	11	54	1,4	6,7	0,3	143	59	1
			Mediana	26,0	25,6	89,6	187,6	38	150	2,7	6,9	0,3	268	186	1
			Média	26,4	25,4	112,0	186,5	39	133	2,5	6,9	0,3	246	155	1
			Percentil 25%	24,9	23,8	71,7	167,3	32	130	2,4	6,8	0,3	209	133	1
			Percentil 75%	26,5	27,0	136,6	212,8	50	158	2,9	7,0	0,3	297	192	1
			Desvio Padrão	2,4	2,6	62,9	34,0	21	55	0,9	0,2	****	71	62	1

QUADRO 11 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T2

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Ambiente	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade	DBO	DQO	Fosfato	pH	S. Sed.	ST	STF
				°C		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		ml/L	mg/L	mg/L
1	05/01/09	T3	17:00	24,7	24,1	165,5	183,2	34	70	2,2	7,02	<0,1	132	85
2	13/01/09	T3	10:30	28,7	27,7	354,8	166,0	54	170	3,8	6,88	2,0	326	216
3	19/01/09	T3	10:30	24,7	22,4	52,1	125,0	18	40	0,8	6,93	<0,1	178	70
4	10/02/09	T3	10:30	26,0	25,1	136,4	231,8	****	150	3,9	6,79	<0,1	292	238
5	17/02/09	T3	11:30	26,0	25,6	167,8	240,2	86	200	2,2	6,77	<0,1	292	238
6	03/03/09	T3	10:30	31,5	29,2	118,4	244,0	17	****	3,7	6,84	<0,1	340	226
7	10/03/09	T3	09:00	26,9	27,6	63,9	182,4	27	114	3,4	7,13	0,5	312	202
8	12/03/09	T3	09:30	25,1	24,0	32,6	162,2	49	110	2,2	7,35	<0,1	256	134
Máximo				30,5	28,7	289,4	242,7	76	191	3,9	7,3	1,9	335	238
Mínimo				24,7	23,0	39,4	138,0	17	49	1,3	6,8	0,6	148	75
Mediana				26,0	25,4	127,4	182,8	34	114	2,8	6,9	1,3	292	209
Média				26,7	25,7	136,4	191,9	41	122	2,8	7,0	1,3	266	176
Percentil 25%				25,0	24,1	61,0	165,1	23	90	2,2	6,8	0,9	237	122
Percentil 75%				27,4	27,6	166,1	233,9	52	160	3,7	7,0	1,6	316	229
Desvio Padrão				2,3	2,3	102,1	42,8	25	56	1,1	0,2	1,1	74	69

QUADRO 12 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T3

UASB + Lodo Dose 2 e 3

Coleta	Data	Local da Coleta	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade Carbonácea	Alcalinidade Total	Relação α	pH	DQO	Nitrogênio amoniacal	Nitrogênio total	S. Sed.	ST	STF
			°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L		ml/L	mg/l	mg/l
1	09/04/09	ETE Belém	25,0	****	116,6	161,1	0,72	7,5	650	****	****	8,5	630	301
2	15/04/09	ETE Belém	23,7	14,0	103,9	129,3	0,80	7,8	706	80,0	0,0	10,0	574	197
3	23/04/09	ETE Belém	21,4	26,0	109,4	160,3	0,68	7,6	729	80,0	0,0	7,5	588	286
4	30/04/09	ETE Belém	23,2	****	****	****	****	7,0	874	****	****	12,0	****	****
5	07/05/09	ETE Belém	24,7	10,0	133,9	171,6	0,77	7,9	213	30,0	30,0	13,0	650	473
6	13/05/09	ETE Belém	26,1	10,0	111,0	162,0	0,69	7,8	1034	****	****	14,0	558	48
7	21/05/09	ETE Belém	23,2	4,0	154,7	211,1	0,73	8,0	608	30,0	45,0	6,0	800	383
8	27/05/09	ETE Belém	****	****	****	****	****	7,2	918	****	****	12,0	****	****
9	05/06/09	ETE Belém	22,5	****	****	****	****	7,0	922	****	****	12,0	****	****
10	10/06/09	ETE Belém	18,5	****	****	****	****	7,0	922	****	****	12,0	****	****
11	18/06/09	ETE Belém	21,0	0,0	107,1	185,8	0,58	8,3	323	25,0	5,0	4,0	408	315
Máximo				25,6	23,0	148,5	203,5	0,79	8,2	983	80,0	13,6	755	446
Mínimo				19,6	1,0	104,8	138,6	0,61	7,0	263	0,0	4,9	453	92
Mediana				23,2	10,0	111,0	162,0	0,72	7,7	718	30,0	5,0	11,0	588
Média				22,9	10,7	119,5	168,8	0,71	7,6	698	49,0	9,9	601	286
Percentil 25%				21,7	5,5	108,2	160,7	0,68	7,3	619	30,0	0,0	7,8	566
Percentil 75%				24,5	13,0	125,3	178,7	0,75	7,9	907	80,0	12,0	640	349
Desvio Padrão				2,2	9,0	18,4	25,3	0,07	0,4	265	28,4	20,4	3,3	118

QUADRO 13 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO BRUTO AFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1, T2 E T3

UASB + Lodo Dose 2

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade Carbonácea	Alcalinidade Total	Relação α	pH	DQO	Nitrogênio amoniacal	Nitrogênio total	S. Sed.	ST	STF
				°C	mg/L	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	ml/L	mg/l	mg/l
1	09/04/09	T1	11:00	25,0	****	154,8	192,9	0,80	7,6	125	****	****	0,1	337	111
2	15/04/09	T1	11:00	23,7	18,0	201,4	254,4	0,79	7,7	152	30,0	80,0	0,1	221	136
3	23/04/09	T1	11:00	21,4	18,0	190,5	216,9	0,88	7,8	245	65,0	0,0	0,1	487	160
4	30/04/09	T1	11:00	26,0	18,0	188,6	241,4	0,78	7,7	164	40,0	10,0	0,1	669	345
5	07/05/09	T1	11:00	24,7	10,0	188,6	226,3	0,83	7,7	64	40,0	50,0	0,1	523	415
6	13/05/09	T1	11:00	26,4	4,0	200,2	267,5	0,75	8,0	114	****	****	0,1	105	60
7	21/05/09	T1	11:00	23,7	4,0	227,5	258,4	0,88	8,1	135	55,0	60,0	0,3	560	505
8	27/05/09	T1	11:00	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
9	05/06/09	T1	11:00	20,9	26,0	227,5	271,2	0,84	7,5	167	45,0	40,0	0,3	383	335
10	10/06/09	T1	11:00	20,8	10,0	204,0	238,0	0,86	8,0	****	45,0	105,0	****	****	****
11	18/06/09	T1	11:00	20,7	2,0	195,9	250,5	0,78	8,2	219	45,0	20,0	0,8	465	155
Máximo				26,2	22,8	227,5	269,5	0,88	8,1	235	61,5	96,3	0,6	625	469
Mínimo				20,7	2,8	170,0	203,7	0,76	7,5	84	33,5	3,5	0,1	151	80
Mediana				23,7	10,0	198,1	245,9	0,82	7,7	152	45,0	45,0	0,1	465	160
Média				23,3	12,2	197,9	241,7	0,82	7,8	154	45,6	45,6	0,2	417	247
Percentil 25%				21,0	4,0	189,1	229,2	0,78	7,7	125	40,0	17,5	0,1	337	136
Percentil 75%				24,9	18,0	203,4	257,4	0,85	8,0	167	47,5	65,0	0,3	523	345
Desvio Padrão				2,2	8,2	20,8	24,3	0,04	0,2	54	10,5	35,8	0,2	175	156

QUADRO 14 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T1

UASB + Lodo Dose 3

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade Carbonácea	Alcalinidade Total	Relação α	pH	DQO	Nitrogênio amoniacal	Nitrogênio total	S. Sed.	ST	STF
				°C	mg/L	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	ml/L	mg/l	mg/l
1	09/04/09	T2	11:00	25,0	****	171,7	203,5	0,84	7,7	158	****	****	0,1	369	139
2	15/04/09	T2	11:00	23,3	2,0	199,3	250,2	0,80	8,2	299	40,0	50,0	1,0	216	105
3	23/04/09	T2	11:00	21,3	26,0	169,7	209,3	0,81	7,6	145	20,0	0,0	0,1	279	131
4	30/04/09	T2	11:00	26,5	10,0	188,6	232,0	0,81	7,8	131	40,0	5,0	0,2	148	92
5	07/05/09	T2	11:00	24,4	8,0	216,9	250,8	0,86	8,0	103	45,0	80,0	0,3	445	378
6	13/05/09	T2	11:00	26,3	10,0	254,8	300,3	0,85	7,8	455	****	****	16	323	120
7	21/05/09	T2	11:00	23,4	4,0	227,5	262,1	0,87	8,1	140	45,0	105,0	0,1	430	278
8	27/05/09	T2	11:00								****				
9	05/06/09	T2	11:00	21,7	22,0	234,8	267,6	0,88	7,6	159	40,0	35,0	0,3	450	355
10	10/06/09	T2	11:00	20,5	14,0	226,0	272,0	0,83	7,8	146	45,0	50,0	****	****	****
11	18/06/09	T2	11:00	20,7	2,0	159,6	220,2	0,72	8,2	201	35,0	10,0	0,3	337	235
		Máximo		26,4	24,4	245,8	287,6	0,87	8,2	385	45,0	96,3	10,0	448	369
		Mínimo		20,6	2,0	164,2	206,1	0,76	7,6	116	25,3	1,8	0,1	175	97
		Mediana		23,4	10,0	208,1	250,5	0,84	7,8	152	40,0	42,5	0,3	337	139
		Média		23,3	10,9	204,9	246,8	0,83	7,9	194	38,8	41,9	2,0	333	204
		Percentil 25%		21,4	4,0	175,9	223,1	0,81	7,7	141	38,8	8,8	0,1	279	120
		Percentil 75%		24,9	14,0	227,1	266,2	0,86	8,1	191	45,0	57,5	0,3	430	278
		Desvio Padrão		2,2	8,5	31,9	30,5	0,05	0,2	106	8,3	37,3	5,2	105	111

QUADRO 15 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T2

UASB + Lodo Dose 2 e 3 (branco)

Coleta	Data	Local da Coleta	Hora	Temp. Amostra	Acidez	Alcalinidade Carbonácea	Alcalinidade Total	Relação α	pH	DQO	Nitrogênio amoniacal	Nitrogênio total	S. Sed.	ST	STF	
				°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	ml/L	mg/l	mg/l	
1	09/04/09	T3	11:00	25,0	****	190,8	224,7	0,85	7,6	113	****	****	0,1	313	77	
2	15/04/09	T3	11:00	23,4	10,0	205,6	248,0	0,83	7,9	170	40,0	40,0	0,5	267	178	
3	23/04/09	T3	11:00	18,3	38,0	190,5	209,3	0,91	7,3	129	20,0	0,0	0,1	259	193	
4	30/04/09	T3	11:00	26,3	14,0	211,2	245,2	0,86	7,8	133	40,0	25,0	0,1	174	109	
5	07/05/09	T3	11:00	23,2	12,0	198,0	237,6	0,83	7,8	114	65,0	45,0	0,1	453	395	
6	13/05/09	T3	11:00	25,8	12,0	200,2	243,9	0,82	7,8	233	****	****	8,0	78	35	
7	21/05/09	T3	11:00	23,0	2,0	211,1	243,8	0,87	8,2	145	45,0	150,0	0,8	515	358	
8	27/05/09	T3	11:00	****												
9	05/06/09	T3	11:00	21,6	28,0	198,4	229,3	0,87	7,5	176	30,0	30,0	0,3	365	300	
10	10/06/09	T3	11:00	20,4	20,0	254,0	298,0	0,85	7,7	158	50,0	20,0	****	****	****	
11	18/06/09	T3	11:00	20,7	0,0	151,5	200,0	0,76	8,5	219	35,0	30,0	0,4	****	****	
				Máximo	26,1	34,0	234,8	275,5	0,89	8,4	227	59,8	113,3	5,1	493	382
				Mínimo	19,2	0,8	169,0	204,2	0,79	7,4	113	23,5	7,0	0,1	111	50
				Mediana	23,1	12,0	199,3	240,7	0,85	7,8	152	40,0	30,0	0,3	290	186
				Média	22,8	15,1	201,1	238,0	0,84	7,8	159	40,6	42,5	1,2	303	206
				Percentil 25%	20,9	10,0	192,6	225,9	0,83	7,6	130	33,8	23,8	0,1	238	101
				Percentil 75%	24,6	20,0	209,8	244,9	0,86	7,9	175	46,3	41,3	0,5	387	314
				Desvio Padrão	2,5	12,0	25,2	26,5	0,04	0,3	41	13,5	45,5	2,6	142	133

QUADRO 16 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO NO EFLUENTE AO REATOR ANAERÓBIO T3